



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

**NOSNÁ OCELOVÁ KONSTRUKCE STACIONÁRNÍHO
HYDRAULICKÉHO AGREGÁTU**

STEEL STRUCTURE FOR THE THE STATIONARY HYDRAULIC UNIT

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Tomáš Petr

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Přemysl Pokorný, Ph.D.

BRNO 2017

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student:	Bc. Tomáš Petr
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Automobilní a dopravní inženýrství
Vedoucí práce:	Ing. Přemysl Pokorný, Ph.D.
Akademický rok:	2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Nosná ocelová konstrukce stacionárního hydraulického agregátu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Návrh, výpočet a úpravy rámu pro statické hydraulické zařízení jako ventilový stůl, ventilová konzola. Jednotlivé typy rámu by měly být zhotoveny ve více rozměrových řadách podle hmotnosti a počtu bloků. Rámy by měly být výrobně jednoduché a v konečném součtu ekonomicky výhodnější než stávající řešení.

Technické parametry rámu ventilových stolů pro více bloků:

Maximální délka a nosnost 4 m / 3 t

Maximální délka a nosnost 2 m / 2 t

Maximální délka a nosnost 1 m / 1 t

Technické parametry rámu ventilových stolů pro jeden blok:

Maximální délka a nosnost 1,5 m / 2,5 t

Maximální délka a nosnost 1 m / 1 t

Technické parametry rámu ventilových konzol:

Nosnost 1000 kg

Nosnost 500 kg

Nosnost 300 kg

Nosnost 150 kg

Cíle diplomové práce:

- rešeršní studie používaných řešení rámu
- pevnostní výpočet nosné konstrukce s ohledem na provozní stavy a také stavy související s dopravou a manipulací se zařízením
- výkresy sestav rámu

Seznam doporučené literatury:

Jurášek, O.: Teorie nosných konstrukcí, skripta VUT v Brně, 1989

Wunderlich, W., Kiener, G.: Statik der Stabtragwerke 1, ed. Teubner B.G. GmbH, 2004, s. 450, ISBN-10: 3-519-05061-7, ISBN-13: 978-3-519-05061-2

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá popisem a pevnostní analýzou několika různých konstrukcí rámců ventilových stolů používaných ve firmě Bosch Rexroth s.r.o. Na úvod jsou popsány způsoby upevnění hydraulických řídicích prvků a následně porovnány konstrukce rámců ventilových stolů, které nesou tyto prvky. Poté jsou metodou konečných prvků provedeny pevnostní analýzy tří vybraných ocelových rámců ventilových stolů pro pracovní a manipulační zatěžovací režim. Výstupem těchto analýz je určení nosností a kritických míst jednotlivých konstrukcí. Na konci práce jsou navrženy a analyzovány nové konstrukce rámu pro jeden řídicí blok, které upravují kritická místa původního řešení.

KLÍČOVÁ SLOVA

Řídicí blok, ocelová konstrukce, pevnostní analýza, nosnost, napětí

ABSTRACT

The main theme of this diploma thesis is a description and a strength analysis of several steel structures of valve frames used by Bosch Rexroth, s. r. o. The first part sums up possibilities of fastening of hydraulic control elements. Furthermore, current types of valve frames were described. The strength analysis of three steel structures was output of using the finite elements method. The result of these analysis was the determination of the loads and critical points of individual structures. In the end of this study, new structures for one block frame were designed to modify the critical locations of the original solution.

KEYWORDS

Control block, steel structure, strength analysis, load capacity, tension

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PETR, T. *Nosná ocelová konstrukce stacionárního hydraulického agregátu*. Brno, 2017. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 56 s. Vedoucí diplomové práce Přemysl Pokorný.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Přemysla Pokorného PhD. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 26. května 2017

.....

Bc. Tomáš Petr

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce panu Ing. Přemyslu Pokornému, PhD. za odborné vedení a dále pak také panu Ing. Janu Pokornému PhD. z firmy Bosch Rexroth, s. r. o. za cenné rady a připomínky při tvorbě této práce. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat své rodině a přítelkyni za velikou podporu a trpělivost v průběhu celého studia.

OBSAH

Úvod	10
1 Způsoby upevnění řídicích prvků	11
1.1 Montáž prvků do potrubí	11
1.2 Montáž na připojovací desku	12
1.3 Montáž do bloku	12
1.4 Montáž na připojovací kostky	13
1.5 Monobloky	14
2 Stacionární ventilový stůl	15
2.1 Srovnání současných konstrukcí	15
2.1.1 Používané profily a vlastnosti materiálu	16
2.1.2 Rám ventilového stolu pro více bloků	17
2.1.3 Rám ventilového stolu pro malé řídicí bloky	18
2.1.4 Rám ventilového stolu pro jeden blok	19
2.1.5 Konzolový rám ventilového stolu	20
3 Pevnostní analýza stávajících konstrukcí	21
3.1 Zatěžovací stavy	21
3.1.1 Zatěžovací stav – pracovní režim	21
3.1.2 Zatěžovací stav – manipulace	21
3.2 Postup pevnostní analýzy	21
3.2.1 Náhrada závěsných ok	22
3.2.2 Zaoblení hran profilů	22
3.2.3 Dovolené napětí	22
3.2.4 Tvorba FEM modelu	23
3.3 Pevnostní analýza rámu pro více bloků	24
3.3.1 Analyzovaný model rámu pro více bloků	24
3.3.2 Způsob zatěžování rámu pro více bloků	25
3.3.3 Pracovní režim rámu pro více bloků	26
3.3.4 Manipulace s rámem pro více bloků	27
3.3.5 Stanovené nosnosti rámu pro více bloků	28
3.4 Návrh zlepšení konstrukce rámu pro více bloků	29
3.5 Pevnostní analýza rámu pro jeden blok	30
3.5.1 Analyzovaný model rámu pro jeden blok	30
3.5.2 Způsob zatěžování rámu pro jeden blok	31
3.5.3 Pracovní režim rámu pro jeden blok	32
3.5.4 Manipulace rámu pro jeden blok	33

3.6	Pevnostní analýza konzolového rámu.....	33
3.6.1	Analyzovaný model konzolového rámu	34
3.6.2	Způsob zatěžování konzolového rámu	34
3.6.3	Pracovní režim konzolového rámu	35
3.6.4	Stanovené nosnosti konzolových rámu	35
3.6.5	Kontrola vzpěrné stability stojiny konzolového rámu.....	36
4	Analýza výjimečných zatěžovacích stavů	38
4.1	Přeprava ventilového stolu nákladním autem v zatáčce	38
4.2	Přeprava ventilového stolu nákladním autem při brždění	39
4.3	Manipulace s rámem zavěšeného na třech lanech	40
4.4	Přeprava konzolového rámu při brždění	41
4.5	Zvedání konzolového rámu pojízdným zakladačem	42
5	Návrhy nosného rámu pro jeden blok.....	43
5.1	Návrh nové konstrukce 1	43
5.2	Analýza návrhu nové konstrukce 1	44
5.3	Návrh nové konstrukce 2	45
5.4	Analýza návrhu nové konstrukce 2.....	46
5.5	Návrh nové konstrukce 3	47
5.6	Analýza návrhu nové konstrukce 3.....	48
5.7	Srovnání návrhů nové konstrukce.....	48
5.8	Volba nové konstrukce rámu pro jeden blok	49
	Závěr.....	50
	Použité informační zdroje.....	51
	Seznam použitých zkratk a symbolů	53
	Seznam příloh.....	55

ÚVOD

V současné době se hydraulické mechanismy stále více používají pro pohon, regulaci a ovládání strojů a nahrazují tak klasické mechanické součásti. Rozvoj hydraulických systémů je úzce spjat s rychlým vývojem elektroniky a elektrotechniky. Tyto systémy mají velké uplatnění v několika oborech. V průmyslu se používají hydraulické mechanismy, skládající se ze stacionárního hydraulického agregátu, řídicí jednotky a hydromotoru, které ovládají zařízení jako: hydraulický zvedák, hydraulický lis, obráběcí stroje nebo třeba rozměrné klapky a ventily v elektrárnách. Díky menším požadavkům na zástavbový prostor a nižší hmotnosti se používají hydraulické mechanismy také pro pohon dynamických strojů v zemědělství, stavebnictví nebo dopravě. [1, 2]

Použití hydraulických systému s sebou přináší řadu výhod. Mezi největší z nich patří snadný přenos a řízení velkých sil a momentů na delší vzdálenosti, jednoduchá ochrana proti přetížení (pojistné ventily) a automatické mazání pohyblivých částí systému. Aplikace hydraulických zařízení má také své nevýhody, které jsou jednak zapříčiněny vlastnostmi hydraulické kapaliny (hořlavost, teplotní závislost viskozity) a také vysokými požadavky na přesnost výroby jednotlivých prvků hydraulického systému. Všechny součásti hydraulických systémů je nutné pevně umístit a navzájem propojit vedením hydraulické kapaliny. V případě stacionárního systému k tomuto účelu slouží ocelové konstrukce, na které jsou všechny prvky včetně potrubí pevně uloženy. [1]

Navrhování nosných konstrukcí se v posledním desetiletí značně změnilo. Za účelem úspory materiálu a tím dosažení výhodné ceny produktu se kromě analytických výpočtů používají také počítačové simulace. Díky významnému rozvoji výpočetní techniky a softwarových programů se použití pevnostních analýz stalo běžnou součástí vývoje nosných konstrukcí. Tyto analýzy byly využity i v této diplomové práci.

1 ZPŮSOBY UPEVNĚNÍ ŘÍDÍCÍCH PRVKŮ

Každý hydraulický systém musí být pro správný chod vybaven několika řídicími prvky, které kontrolují a mění hodnoty fyzikálních parametrů hydraulické kapaliny, jako jsou tlak nebo průtok. Mezi tyto zařízení patří například všechny druhy ventilů, hydraulické zámky nebo rozdělovače. Tyto řídicí prvky mohou být zabudovány do hydraulického obvodu několika způsoby [3]:

- do potrubí
- na připojovací desku
- do bloku
- na připojovací kostky
- jako monobloky

1.1 MONTÁŽ PRVKŮ DO POTRUBÍ

Jedná se o nejstarší způsob montáže a slouží k upevnění jednoduchých řídicích prvků, jako jsou jednosměrné nebo škrťací ventily. Upevnění těles do armatury se využívalo nejčastěji u prvků, které se v obvodu nachází pouze jednou, a tudíž jejich sdružování není možné. Tyto prvky musí být pro uchycení do vedení vybaveny závity nebo přírubami, viz obrázek 1. V dnešní době se z důvodu pracné montáže a demontáže tento způsob upevnění řídicích prvků téměř nepoužívá [3].



Obr. 1: Pomocný ventil pro montáž do potrubí [4]

1.2 MONTÁŽ NA PŘIPOJOVACÍ DESKU

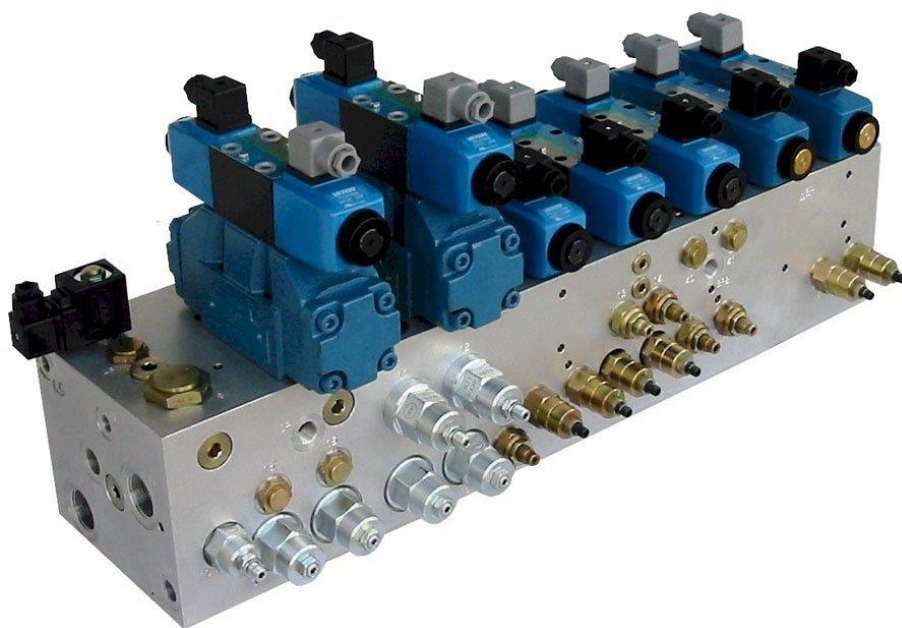
Tento způsob upevnění se používá pro hydraulické prvky s více než dvěma výstupy, které mohou být tak blízko u sebe, že znemožňují (nebo činí velice obtížným) namontování příslušných hadic. Řídící prvek se připevní šrouby na ocelovou desku (obr. 2), která má na horní ploše stejné otvory jako připojovaný prvek, ale na spodní straně disponuje většími roztečemi těchto otvorů. Z důvodu přesného usazení obou částí jsou dosedací plochy desky broušené a těsnost spojení spáry zajišťuje O – kroužek umístěný v drážce otvoru v prvku [3].



Obr. 2: Připojovací deska firmy Bosch Rexroth [5]

1.3 MONTÁŽ DO BLOKU

Základní část tvoří ocelový kvádr s broušeným povrchem, skrze který jsou vyvrtány dva hlavní otvory pro vstup a výstup přiváděné hydraulické kapaliny z potrubí. Kolmo na toto vedení jsou z povrchu tělesa vyvrtány menší otvory, na které jsou napojeny vstupy a výstupy řídicích prvků. Ty jsou k broušené ploše připevněny šrouby, a díky velké tuhosti bloku je možné tyto prvky na sebe vertikálně sdružovat, viz obrázek 3. Po osazení bloku řídicími prvky se tento celek nazývá **řídicí** nebo **ventilový blok**. Z důvodu vysoké hmotnosti se řídicí bloky používají především pro stacionární hydraulické zařízení a bývají uloženy na ocelovém rámu. Na jedné konstrukci může být více ventilových bloků, které jsou následně propojeny potrubím nebo hadicí. Nosné konstrukce řídicích bloků jsou hlavním tématem této Diplomové práce [3].



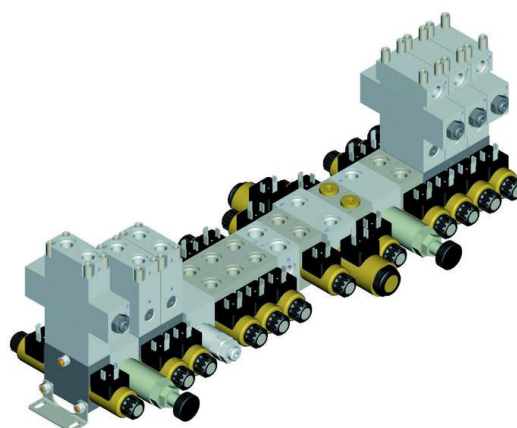
Obr. 3: Řídící blok [6]

1.4 MONTÁŽ NA PŘIPOJOVACÍ KOSTKY

Z důvodů vysoké cenové a technologické náročnosti výroby jednoho velkého kusu bloku, existují také menší ocelová tělesa provrtaná otvory, většinou ve tvaru kostky nebo podlouhlého kvádrů, jak lze vidět na obrázku 4. Jejich výhodou je vysoká variabilita, možnost jednoduché výměny vadného kusu a popřípadě lze snadno měnit velikost a počet použitých prvků. Všechny malé bloky lze horizontálně sdružovat, viz obrázek 5. Jednotlivé kostky se spojují svorníky, mají broušené plochy a hydraulické prvky se k nim připevňují šrouby. Mezi přípojevací kostky mohou být vloženy dělící nebo obtokové desky a celá sestava je ukončena upevňovacími deskami, které slouží pro snadnější uchycení ke konstrukci [3].



Obr. 4: Upevňovací kostky [7]



Obr. 5: Horizontálně a vertikálně sdružené prvky na upevňovacích kostkách [8]

1.5 MONOBLOKY

Jedná se o obdobu řídicího bloku, oproti kterému monoblok disponuje nižší hmotností a menším zástavbovým prostorem. To je docíleno tím, že se tato součást skládá z jediného odlitku s přímo integrovanými vestavnými prvky. Z těchto důvodů se používá pro mobilní hydrauliku například u stavebních nebo zemědělských strojů. Na obrázku níže lze vidět několik typů monobloku [3].

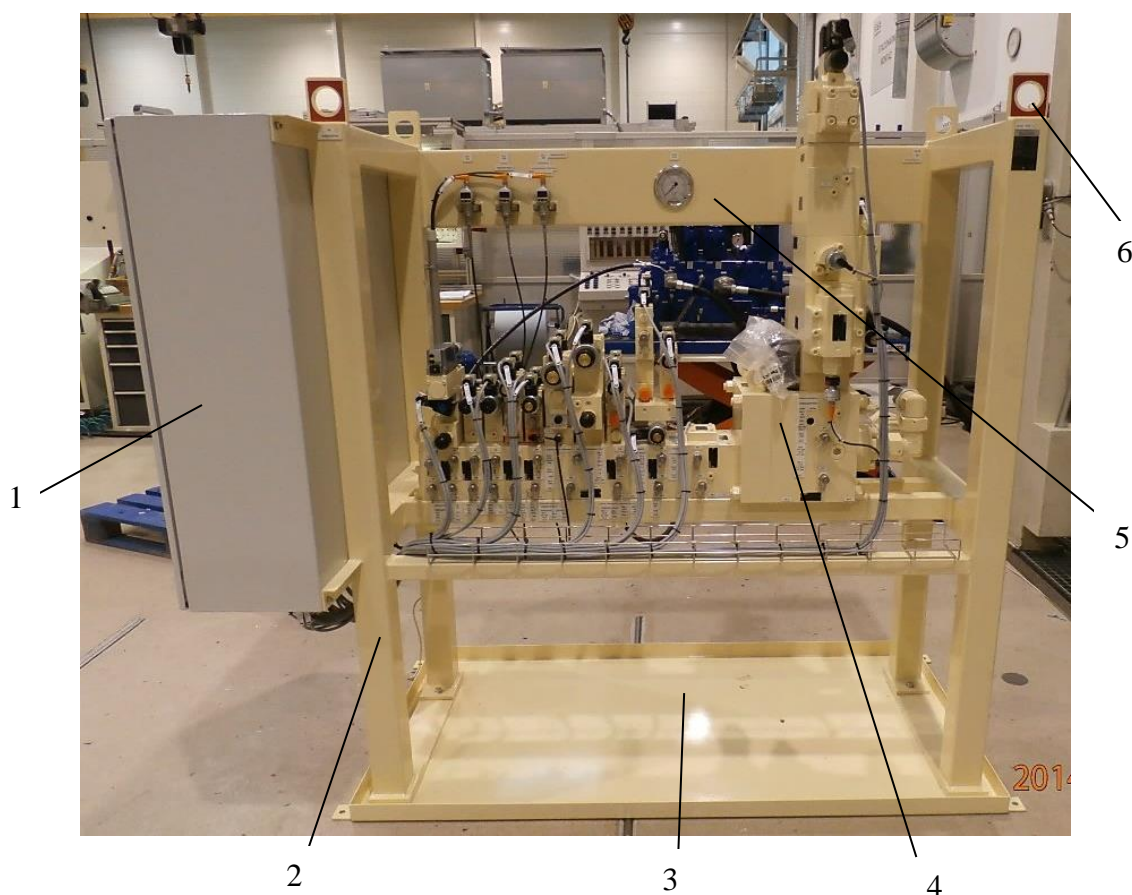


Obr. 6: Monobloky pro mobilní hydrauliku [9]

2 STACIONÁRNÍ VENTILOVÝ STŮL

Ventilový stůl je zařízení, které řídí a rozděluje tok hydraulické kapaliny produkovaný hydraulickým agregátem. Tuto činnost zajišťuje velké množství rozvaděčů, ventilů a dalších hydraulických prvků, umístěných na již zmíněném řídicím bloku, který je hlavní součástí ventilového stolu, viz obrázek 7.

Dalšími prvky, ze kterých se skládá každý ventilový stůl, jsou: nosný rám, elektrická rozvodná skříň, záchytná okapová vana, a potrubí. Dále mohou být ventilové stoly vybaveny doplňujícími zařízeními, například: manometry, filtry nebo třeba hydraulickými akumulátory.



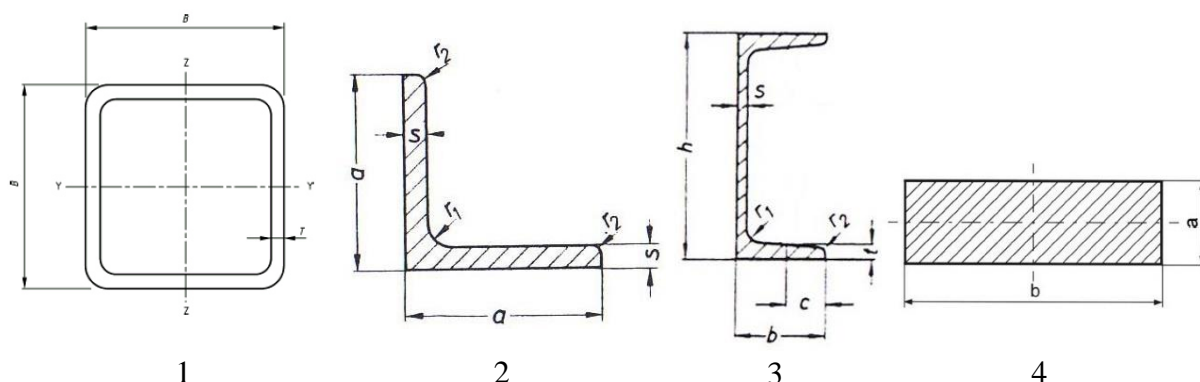
Obr. 7: Části ventilového stolu: 1. elektrická rozvodná skříň, 2. nosný rám, 3. okapová vana, 4. řídicí blok, 5. zadní plechová stěna s manometrem, 6. závěsné oko [10]

2.1 SROVNÁNÍ SOUČASNÝCH KONSTRUKCÍ

Nosný rám ventilového stolu je jednoduchý svařenec, na kterém jsou uchyceny všechny prvky ventilového stolu. V současné době se ve firmě BR používá několik druhů konstrukcí, které se odlišují tvarem, rozměry a použitými profily. Všechny rámy jsou opatřeny dosedacími patkami, které slouží pro ukotvení konstrukce do podlahy, a také závěsnými oky pro uchycení rámu na lana během manipulace. V další části této kapitoly jsou porovnány a popsány nejpoužívanější typy konstrukcí a použité profily.

2.1.1 POUŽÍVANÉ PROFILY A VLASTNOSTI MATERIÁLU

Celkově nejpoužívanějším profilem je uzavřený svařovaný profil se čtvercovým průřezem, který je použit na stojiny a ve většině konstrukcí i pro obvodové nosníky, které jsou v některých případech nahrazeny U profilem. Řídící blok je nejčastěji upevněn k příčnícům z rovnoramenného L profilu, jenž je použit také pro výztuhy okapových van u dlouhých ráků, nebo jako nosný prvek elektrického rozvaděče. Pro výrobu dosedacích patek se používá tyčový profil, který na některých konstrukcích nahrazuje L profil na příčnicích.



Obr. 8: Nejpoužívanější profily pro rámy ventilových stolů: 1. uzavřený čtvercový profil, 2. rovnoramenný L profil, 3. U profil, 4. tyčový profil, [11]

Tabulka 1: Parametry nejpoužívanějších profilů [11, 12]

Profil [mm]	Plocha průřezu [cm ²]	Modul průřezu [cm ³]	Hmotnost [kg/m]	Cena ¹ [kč/m]
□ EN 10219, 50 x 50 x 5	8,36	10,82	6,37	151
□ EN 10219, 60 x 60 x 5	10,40	16,83	7,89	187
□ EN 10219, 80 x 80 x 5	14,36	32,86	10,96	259
L EN 10056, 50 x 50 x 5	4,80	3,05	3,77	65
L EN 10056, 60 x 60 x 5	5,82	4,45	4,57	79
L EN 10056, 80 x 80 x 6	9,35	9,57	7,34	127

Všechny profily jsou vyrobeny z oceli S235JR (ČSN 11 375). Jedná se o nelegovanou jakostní konstrukční ocel, která je vhodná pro použití ve svařovaných konstrukcích. Pro výpočet je tento materiál uvažován jako izotropní, homogenní a lineární. Mechanické vlastnosti použité oceli jsou dále uvedeny v tabulce 2.

Tabulka 2: Mechanické vlastnosti oceli S235JR [13]

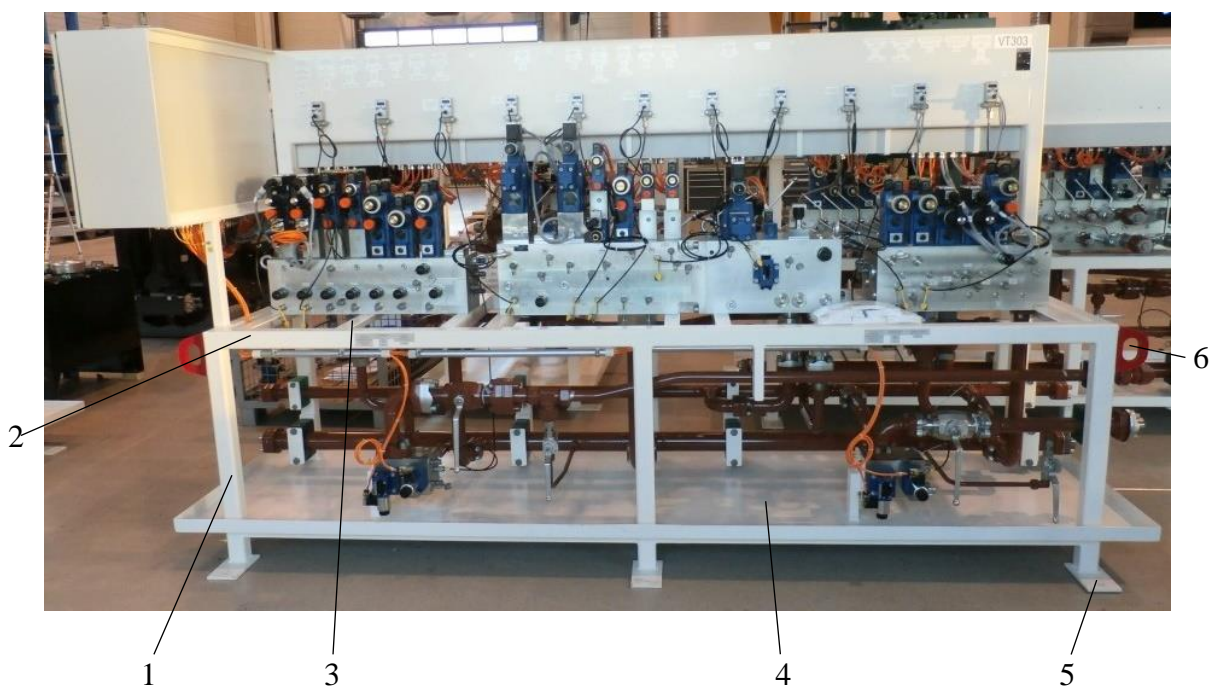
Vlastnosti	Značení	Hodnota	Jednotka
Modul pružnosti v tahu	E	210 000	MPa
Modul pružnosti ve smyku	G	80 770	MPa
Minimální mez kluzu	R _e	235	MPa
Mez pevnosti v tahu	R _m	360	MPa
Poissonovo číslo	μ	0,3	-
Hustota	ρ	7 820	kg·m ⁻³

¹ Ceny stanovené dne 25. 2. 2017

2.1.2 RÁM VENTILOVÉHO STOLU PRO VÍCE BLOKŮ

Tento typ rámu se nejčastěji používá pro upevnění více řídicích bloků na jednu konstrukci. Jak lze vidět na obrázku 9, všechny obvodové nosníky i stojiny jsou tvořeny uzavřeným profilem se čtvercovým průřezem. Jednotlivé bloky jsou uloženy na několika příčnicích z L profilů v závislosti na rozměrech a hmotnosti daného bloku. Prvky vedení hydraulické kapaliny (potrubí, armatury) jsou upevněny nejen na stojinách, ale i na okapové vaně. Ke stojinám jsou přivařeny dosedací patky i závěsná oka.

Okapová vana vyrobená ze 3 mm nebo 4 mm silného plechu, je těsnícím svarem po obvodu stojin připevněna k rámu přibližně 20 cm od podlahy. Tento způsob upevnění je finančně náročnější (než řešení v další kapitole), ale umožňuje, aby měla vana výpusť, a také zjednodušuje přístup operátorům k ventilovým blokům. Z důvodu velkého rozměru vany a také způsobu uchycení potrubí je vana zespod vyztužena tyčemi z L profilu.



Obr. 9: Rám ventilového stolu pro více bloků [10]: 1. stojina, 2. obvodové nosníky, 3. příčník, 4. vyztužená okapová vana, 5. dosedací patka, 6. závěsné oko

2.1.3 RÁM VENTILOVÉHO STOLU PRO MALÉ ŘÍDÍCÍ BLOKY

Uplatňuje se nejčastěji pro sestavu několika spojených malých řídicích bloků, nebo sériově řazených a svorníky spojených upevňovacích kostek, které lze vidět na obrázku 10. Tyto prvky jsou umístěny na podélných obvodových nosnících. Místo příčníků z L profilu jsou mezi nosníky přivařeny tyčové profily, které ale neslouží primárně jako nosné prvky a jejich účelem je pouze umístění šroubů, kterými je připevněn řídicí blok. Samotné stojiny a nosníky vytvořeny ze čtvercového uzavřeného profilu, neumožňují šroubové spojení řídicího bloku s rámem.

Pro tento typ konstrukce je použita okapová vana na podlaze. Výhodami tohoto uspořádání jsou jednodušší montáž, a samotná vana nemusí být vyztužena. Nevýhodou je nepřítomnost výpustního otvoru a horší ergonomie pro operátory.

Používá se také konstrukce, kdy je použito uložení ventilového bloku jako kombinace předchozích dvou variant. Blok připevněn na jedné straně k nosníku a na druhé straně je uchycen na příčnících z tyčového profilu, viz obrázek 11. Pro podélné nosníky takového ventilového stolu, který je nese jeden menší řídicí blok, je použit U profil.



Obr. 10: Rám pro sestavu malých řídicích bloků umístěných na podélných nosnících [10]:
1. stojina, 2. obvodové nosníky, 3. okapová vana, 4. tyčový příčník, 5. závěsné oko

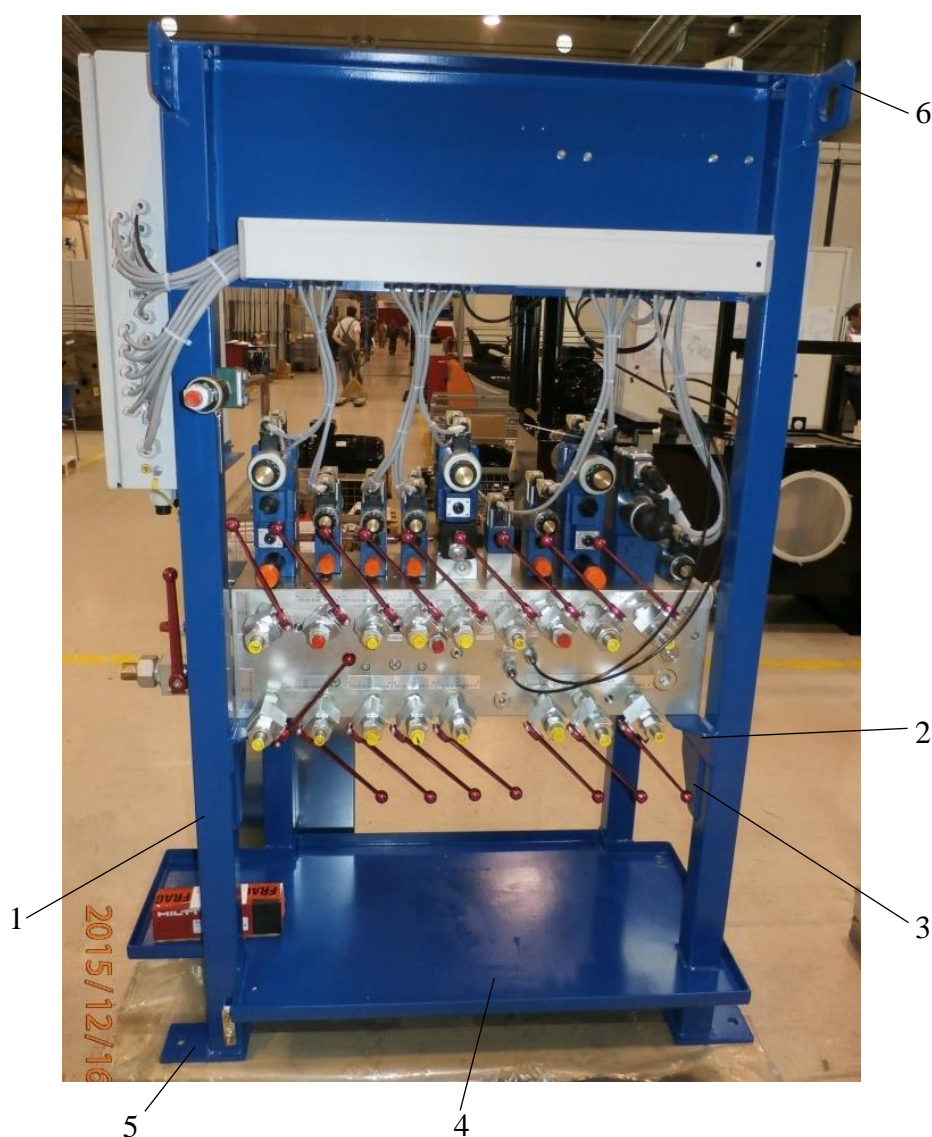


Obr. 11: Rám pro jeden blok umístěný na podélném nosníku a tyčových příčnících [10]:
1. stojina, 2. podélný U nosník, 3. tyčový příčník, 4. příčný vnější nosník, 5. závěsné oko

2.1.4 RÁM VENTILOVÉHO STOLU PRO JEDEN BLOK

Tento rám se skládá pouze ze čtyř stojin čtvercového profilu, které jsou příčně spojeny L příčníky. Pro vyšší únosnost jsou vyztuženy čtyřmi žebry lichoběžníkového tvaru. Podélné spojení stojin zajišťuje vysoce tuhý ocelový kvádr, který tvoří základ řídicího bloku. Ten je několika šrouby upevněn na zmíněných L příčnicích. Toto řešení je velice výhodné – odpadá nutnost užít obvodové nosníky, čímž dojde také ke snížení hmotnosti celé konstrukce. Nevýhodou tohoto konceptu je možnost uchycení pouze jednoho monolitického řídicího bloku.

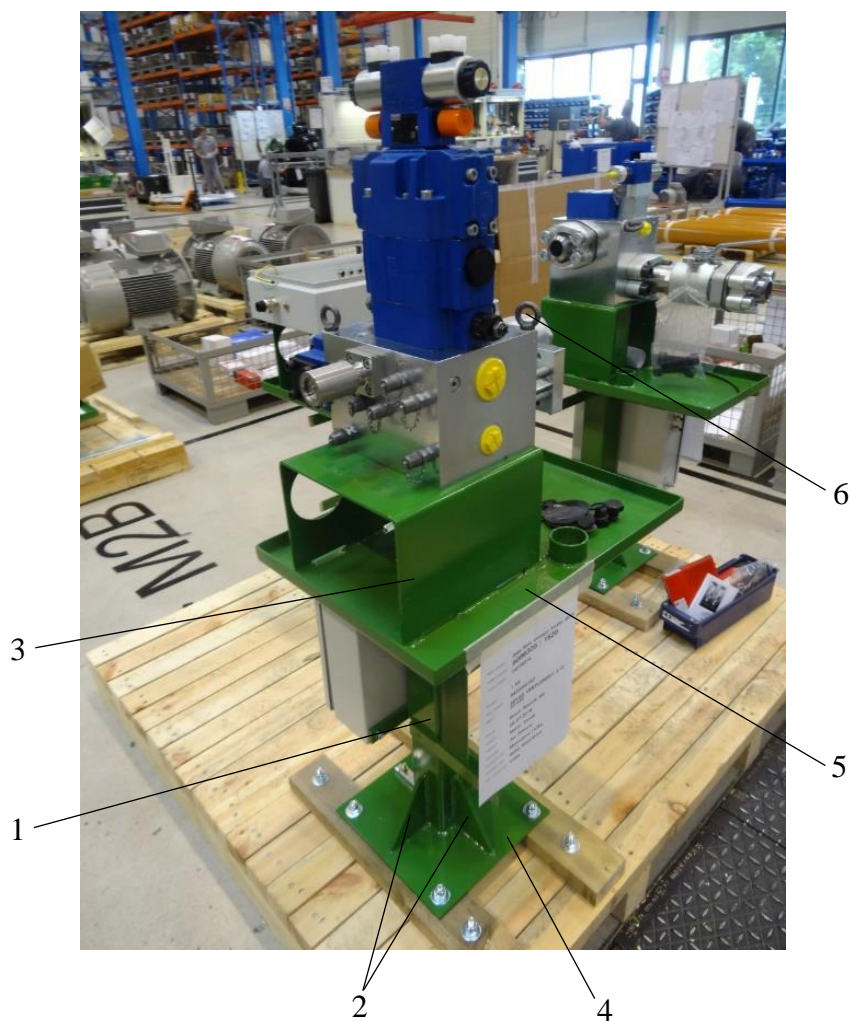
Na obrázku 12. lze také vidět nový tvar okapové vany, která respektuje obvod stojin, tudíž na několika místech nemusí být použity těsnící sváry.



Obr. 12: Rám ventilového stolu pro jeden blok [10]:
 1. stojina, 2. příčný L nosník, 3. žebro, 4. okapová vana, 5. dosedací patka
 6. závěsné oko

2.1.5 KONZOLOVÝ RÁM VENTILOVÉHO STOLU

Jedná se o jednoduchou konstrukci, která slouží pro uchycení jednoho řídicího bloku většinou krychlového tvaru. Základem rámu je stojina z profilu se čtvercovým průřezem. K horní části stojiny je přivařen ohýbaný plech, na který je uchycen řídicí blok. Stabilitu zajišťuje velká dosedací patka přivařená na spodek stojiny a také tři žebra, která tyto dvě části spojují. Jak lze vidět na obrázku 13, okapová vana je v tomto případě připevněna ke stojině a hornímu ohýbanému plechu svarem. Jedná se tedy o poměrně odlišné řešení oproti předchozím variantám, jehož největší výhodou je výrazně nižší hmotnost než u „čtyřnohých“ rámu.



Obr. 13: Konzolový rám [10]:

1. stojina, 2. žebra, 3. nosná deska, 4. čtvercová dosedací patka,
5. okapová vana, 6. závěsné oko

3 PEVNOSTNÍ ANALÝZA STÁVAJÍCÍCH KONSTRUKCÍ

V této části diplomové práce je provedena pevnostní analýza tří konstrukčních řešení nosných rámu ventilových stolů, které se v současné době ve firmě Bosch Rexroth, s. r. o. používají. Jsou to: **ventilový stůl pro více bloků**, **ventilový stůl pro jeden blok** a **konzolový stůl**. Z důvodu velké rozmanitosti rozměrů a tvarů jednotlivých konstrukcí byly tyto specifikace pro každý rám logicky odvozeny z dostupných materiálů firmy BR. Tímto způsobem byly vytvořeny rámy, na kterých byla provedena pevnostní analýza. Pro každý rám jsou uvažovány různé zatěžovací stavy, viz následující kapitola. Výstupem této analýzy jsou hodnoty a výskyt maximálních napětí a deformací, na základě kterých, bude dle zadání stanovena maximální dovolená hodnota zatížení, nebo vhodná úprava stávající konstrukce.

3.1 ZATĚŽOVACÍ STAVY

Na většinu strojních součástí působí během jejich pracovního cyklu různé zatěžovací stavy. Každý takový stav je charakterizován rozdílným působením sil na zařízení a různými okrajovými podmínkami během pevnostní analýzy. Tyto síly v něm vyvolávají rozličné napětí a deformace. Zatěžovacím stavem může být například: běžný pracovní režim, přetížení, manipulace nebo nečekaný pohyb při přepravě (pád, náraz). Pevnostní analýza většiny rámu bude realizována pro dva zatěžovací stavy, a to **pracovní režim** a **manipulace**.

3.1.1 ZATĚŽOVACÍ STAV – PRACOVNÍ REŽIM

Během pracovního režimu jsou ventilové stoly připevněny přes dosedací patky k podlaze pomocí šroubů. Na jednotlivé rámy je umístěn určitý počet ventilových bloků s maximální hmotností, na jakou je daný stůl konstruován. Při pracovním režimu je uvažováno pouze působení tíhového zrychlení $g = 9,807 \text{ m.s}^{-2}$ a všechny další vlivy jako například rázy nebo vibrace jsou vzhledem k jejich malé velikosti a velké hmotnosti stolů zanedbávány.

3.1.2 ZATĚŽOVACÍ STAV – MANIPULACE

Při tomto zatěžovacím stavu je s konstrukcí, na které jsou umístěny ventilové bloky, manipulováno pomocí jeřábu. Spojení jeřábu se stolem zajišťují čtyři lana, uchycená na konstrukci v závěsných okách. Během manipulace je uvažováno působení tíhového zrychlení $g = 9,807 \text{ m.s}^{-2}$. Z důvodů nízké rychlosti manipulace, nejsou uvažovány žádné další zrychlující ani setrvačné síly.

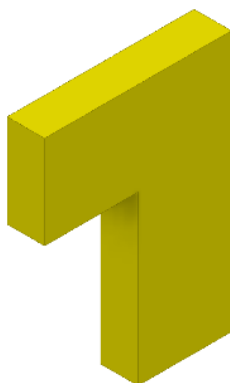
3.2 POSTUP PEVNOSTNÍ ANALÝZY

Pro výpočet všech pevnostních analýz byl zvolen program NX I-deas. V tomto programu byl nejprve vytvořen skořepinový model, který se skládá z ploch střednic jednotlivých profilů. Tyto střednice byly zhotoveny rozřezáním objemu rámu. Pro samotný výpočet, který probíhal numerickou metodou konečných prvků – MKP, bylo nutné na skořepinovém modelu vytvořit

sít'. Ta model rozdělila na konečný počet prvků, jejichž tvar a počet musí být vhodně zvolen jednak z důvodu ovlivnění kvality výsledku, ale také kvůli časové a hardwarové náročnosti samotného výpočtu. Jednotlivým síťovým plochám byla následně přiřazena tloušťka a vlastnosti materiálu dle použitého profilu.

3.2.1 NÁHRADA ZÁVĚSNÝCH OK

Závěsná oka, která slouží pro uchycení lan během manipulace s rámem, byla po konzultaci ve firmě BR pro výpočet pevnostní analýzy nahrazena jednoduchým hákem ve tvaru písmene L (obr. 14), vyrobeného z ocelového plechu. Důvodem takové náhrady je jednak dlouhodobá bezproblémová zkušenost firmy s užíváním těchto ok, tudíž není nutné vytvořit jejich pevnostní analýzu, a zároveň také předpokládaný nepřesný výsledek analýzy takového prvku. To je způsobeno nereálným rozložením napětí od lan na kruhové oko (namáhání se dá rozložit pouze na několik uzlů vzniklé FEM sítě, a ne na celou plochu oka). Pro co nejmenší ovlivnění analýzy samotného rámu má náhradní hák tloušťku stěny (10 mm) a délku spoje (70 mm) stejnou, jako nejčastěji používaná závěsná oka.



Obr. 14: Náhrada závěsného oka pro pevnostní analýzu

3.2.2 ZAOBLENÍ HRAN PROFILŮ

Pro pevnostní analýzy nebylo potřeba uvažovat zaoblení hran jednotlivých profilů, ze kterých je rám ventilového stolu vytvořen. Tímto zjednodušením nedochází k významnému ovlivnění výsledků, a navíc přebytečný materiál částečně nahrazuje svarové spoje, které nejsou během analýzy uvažovány, neboť jejich náhrady ve FEM modelu zapříčiňují nepřesné výsledky těchto analýz.

3.2.3 DOVOLENÉ NAPĚTÍ

Materiál S235JR, ze kterého jsou vyráběny rámy ventilových stolů, má mez kluzu $R_e = 235$ MPa. Po zohlednění stanovení návrhové pevnosti pro svařované konstrukce ($k = 1,1$) uvedené v normě ČSN EN 1993-1-1, a po konzultaci s vedoucím diplomové práce, byla hodnota dovoleného napětí stanovena na $\sigma_d = 180$ MPa [14].

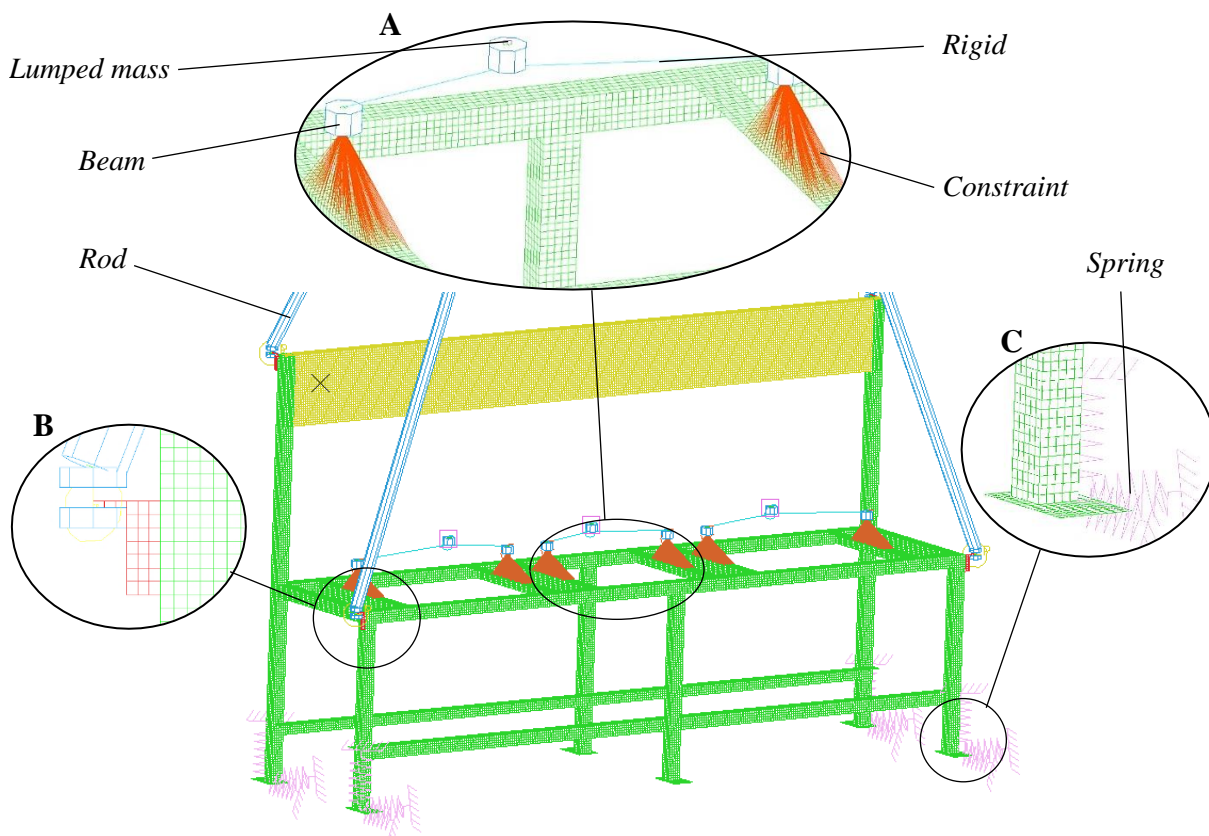
3.2.4 TVORBA FEM MODELU

Na obrázku 15 je ukázán kompletní FEM model rámu vytvořený v programu NX-Ideas. Na ukázkou byl zvolen 3 m dlouhý rám pro více bloků, na kterém je zhotovena síť konečných prvků. Ta byla většinou vytvořena příkazem *free mesh* (volná síť), kdy jsou všechny síťované plochy definovány pouze jednou délkou hrany prvku. Jako nejvhodnější se ukázala délka hrany 10 mm. Na některé části rámu (závěsná oka, žebra) bylo nutné použít příkazu *defined mesh* (definovaná síť), kdy je nutné pro každou plochu určit počet (a tím i délku) prvků sítě. Jak již bylo řečeno, tato síť se nachází na střednicových plochách profilů, kterým je poté přiřazena tloušťka materiálu. Pro znázornění byly pro jednotlivé tloušťky použity tyto barvy: žlutá 3 mm, zelená 5 mm a červená 10 mm. Pro celý model bylo nutné kromě prvků pro tvorbu FEM sítě použít i několik dalších programových příkazů. Příkladem mohou být prvky pro: náhradu hmotnosti, pevné spojení uzlů, manipulační lana a pružiny, znázorněné v detailech obrázku.

Detail A: V detailu A je ukázána náhrada zatížení způsobeného řídicím blokem. Na místo předpokládaného těžiště je umístěn prvek (*lumped mass*), kterému je přiřazena hmotnost řídicího bloku. Toto zatížení je poté rovnoměrně přeneseno (prvky *rigid*) a rozloženo na plochy příčniců (prvky *constraint*). Prvky *Beam* slouží pouze jako spojovací elementy.

Detail B: Zobrazuje náhradu závěsných ok (červená barva), ke kterým jsou připojena lana (*rod*). Konce lan se střetávají v jednom bodě, který je vetknutý (není znázorněno kvůli vysokému ukotvení lan – 4 m nad obvodovými nosníky).

Detail C: Pro správný průběh výpočtu zatěžovacího stavu manipulace je nutné model na vhodných místech doplnit čtyřmi pružinami (*spring*) s tuhostí $k = 0,1 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$. Bez užití těchto pružin dochází k rotaci zavěšeného modelu a výsledky analýzy jsou značně nepřesné.



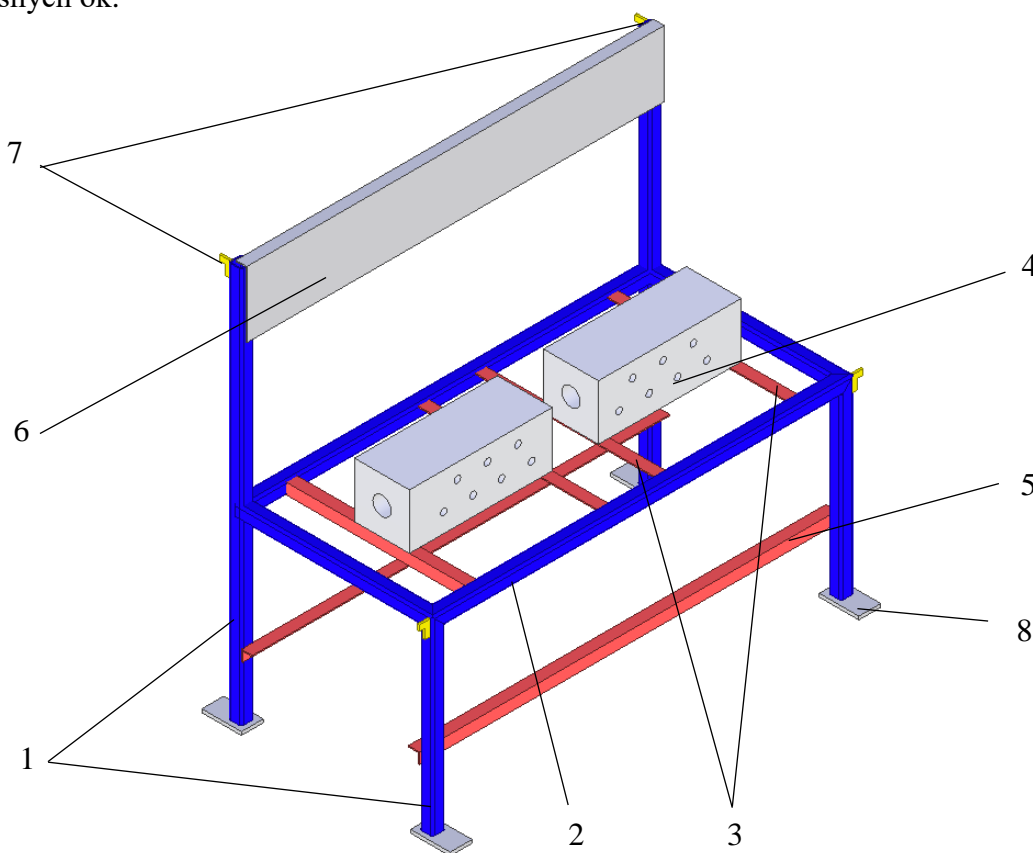
Obr. 15: Ukázka hotového FEM modelu

3.3 PEVNOSTNÍ ANALÝZA RÁMU PRO VÍCE BLOKŮ

Cílem pevnostní analýzy tohoto typu nosného rámu je zjištění maximálního dovoleného zatížení pro danou délku a použité profily konstrukce. Tvar rámu vychází z konstrukce uvedené v kapitole 2.1.2. Použité jsou celkem tři rozměrové řady uzavřených profilů: 50 x 50, 60 x 60 a 80 x 80 mm, všechny o tloušťce stěny 5 mm. Délka rámu (počítáno od vnějších hran stojin) nabývá hodnot $<1; 4>$ m. Proto bylo vytvořeno pro každý profil 16 modelů s rozdílem délky 0,2 m (1,0; 1,2; 1,4 m...). Celkově bylo v programu NX-Ideas vyrobeno 48 rámu, které byly zatíženy dle kapitoly 4.3.2 nejvyšší možnou hmotností ventilových bloků, kdy ale na celém rámu nedošlo k překročení dovolené hodnoty napětí.

3.3.1 ANALYZOVANÝ MODEL RÁMU PRO VÍCE BLOKŮ

Jak lze vidět na obrázku 16, skládá se rám ze čtyř stojin spojených obvodovými nosníky, které jsou vyrobeny z uzavřeného profilu se čtvercovým průřezem. Pokud je délka rámu větší než 2,4 m, jsou součástí rámu další dvě stojiny, umístěné ve středech nosníků. Ventilové bloky jsou uchyceny k příčníkům vyrobeným z rovnoramenného L profilu s rozměry stejnými jako použité nosníky. Ze stejného profilu jsou také zhotoveny výztuhy okapové vany, která není součástí analyzované konstrukce. K zadním stojinám je přivařena plechová stěna silná 3 mm. Pro upevnění rámu k podlaze je ke spodní straně každé stojiny přivařena příruba o rozměrech 150 x 100 x 10 mm. Pro analýzu režimu manipulace je rám vybaven čtyřmi náhradami závěsných ok.



Obr. 16: Analyzovaná podoba rámu pro více bloků: 1. stojiny, 2. obvodové nosníky, 3. L příčnicky, 4. řídicí bloky, 5. výztuha okapové vany, 6. zadní stěna, 7. závěsná oka, 8. dosedací patky

3.3.2 ZPŮSOB ZATĚŽOVÁNÍ RÁMU PRO VÍCE BLOKŮ

Délková, tvarová a hmotnostní rozmanitost řídicích bloků, které se na tento typ rámu upevňují, silně ovlivňuje způsob zatížení a tím i výsledné namáhání konstrukcí. Z toho důvodu bylo vytvořeno několik kritérií pro správné stanovení uvažovaného zatížení, která byla během simulace rámu pro více bloků dodržována. Na konstrukci se běžně upevňují i další části ventilového stolu jako elektrický rozvaděč nebo potrubí, ale jejich hmotnost je vzhledem k hmotnosti řídicích bloků zanedbatelná. Kritéria způsobu zatěžování:

Počet a velikost ventilových bloků

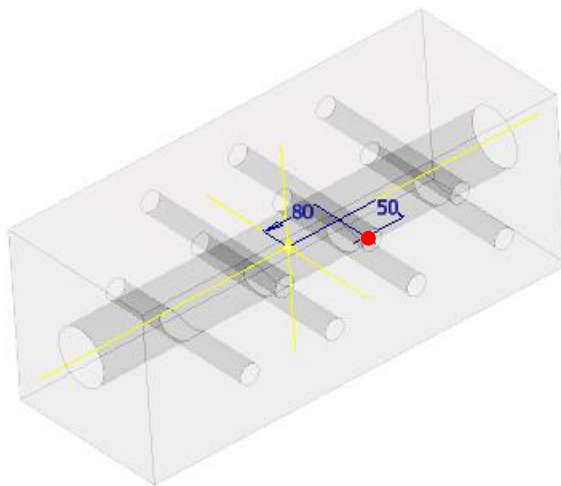
Tato konstrukce je určena pro uchycení 1 – 4 kusů ventilových bloků, o délce 0,6 – 1,0 m, a s výškou a šířkou 0,25 m. Mezi jednotlivými bloky musí být z důvodu přechýlající aparatury a snadnější dostupnosti mezera alespoň 120 mm. Výstupem zmíněných rozměrů je tabulka 3, pomocí které byl vždy stanoven počet bloků na jednu konstrukci. Délkové rozměry bloku byly vhodně zvoleny s ohledem na symetričnost zatížení.

Tabulka 3: Počet bloků umístěných na konstrukci

Délka rámu [m]	Počet bloků [ks]
1,0 – 1,4	1
1,6 – 2,4	2
2,6 – 3,4	3
3,6 – 4,0	4

Hmotnost a poloha těžiště ventilového bloku

Pokud byl rám zatížen více jak jedním ventilovým blokem, bylo stanoveno, že hmotnost všech bloků v analýze je shodná. Z důvodu velké rozmanitosti umístění a počtu řídicích prvků na bloku se těžiště vždy nemusí nacházet na ose tělesa. Proto byla pro simulace stanovena maximální výchylka těžiště od středu bloku v podélném 80 mm a příčném směru 50 mm, viz obrázek 17. Během analýzy byla pro zjištění nejvyššího napětí vždy uvažována maximální odchylka těžiště každého bloku se směrem posunutí těžiště co nejbližší ke středu rámu.



Obr. 17: Posunutá poloha těžiště řídicího bloku

Poloha bloků na příčnicích

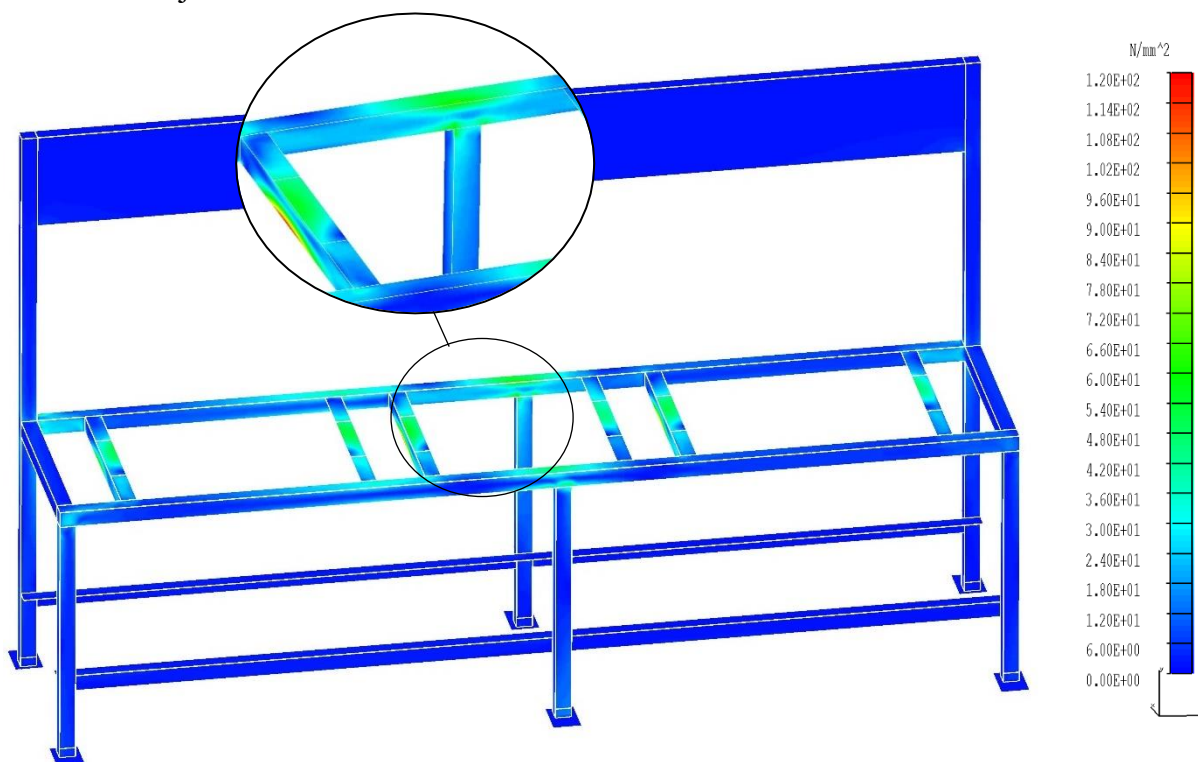
Řídící bloky jsou na rám umístěny vždy sériově v jedné linii za účelem snadného propojení potrubím. Bylo rozhodnuto, že kvůli přečnívajícím prvkům, umístěným na ocelovém bloku, leží tato řada bloků vždy ve středu příčniců. Na začátku výpočtů byl každý blok umístěn na 2 příčníky. S klesající délkou rámu a zvyšující se hmotností jednotlivých řídicích bloků se kritické místo přesunulo na tyto nosníky. Z toho důvodu byl u některých konstrukcí zvýšen počet příčniců při překročení hmotnosti řídicího bloku dle tabulky 4.

Tabulka 4: Maximální hmotnost bloku na dva příčníky

Profil příčniců [mm]	Maximální hmotnost 1 bloku na 2 příčníky [kg]
50 x 50 x 5	900
60 x 60 x 5	1200
80 x 80 x 6	1800

3.3.3 PRACOVNÍ REŽIM RÁMU PRO VÍCE BLOKŮ

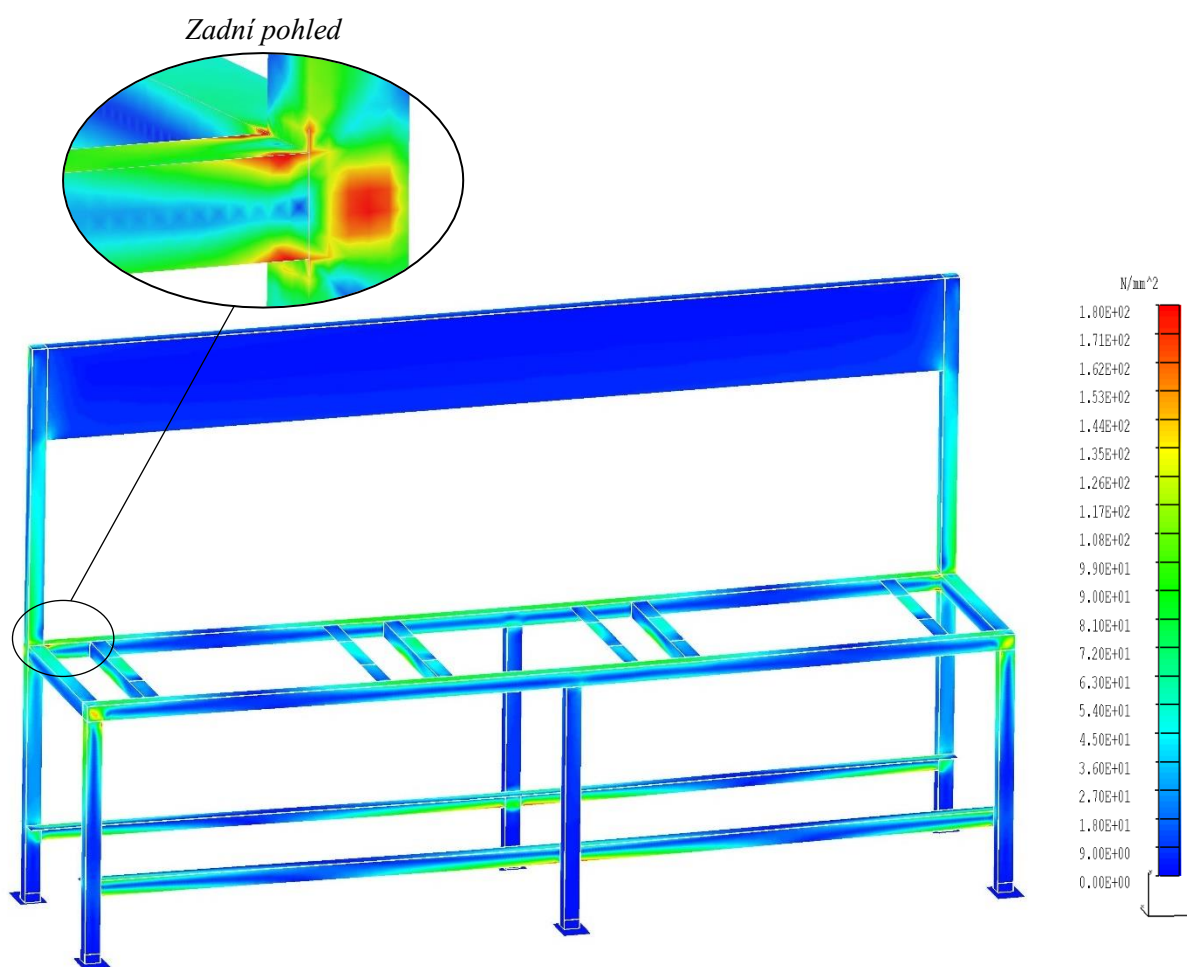
Pro ukázkou pevnostní analýzy pracovního režimu byl vybrán 3 m dlouhý rám z uzavřeného čtvercového profilu 50 x 50 x 5 mm, zatížený celkovou hmotností všech bloků 1750 kg. Napětí v pracovním režimu nabývalo poměrně nízkých hodnot a nebyla překročena dovolená hodnota napětí. Nejvyšší napětí – 120 MPa se nachází na příčnicích z L profilu, na kterých je umístěn řídicí blok. Další vysoce namáhané místo je na zadním nosníku v okolí prostřední stojiny, viz detail následujícího obrázku.



Obr. 18: Pracovní režim rámu pro více bloků; napětí redukováné podle podmínky HMM, zobrazení neděformované, top/bottom shell, rozsah zobrazeného napětí 0 – 120 MPa

3.3.4 MANIPULACE S RÁMEM PRO VÍCE BLOKŮ

Během manipulace, kdy je stejný rám jako v předchozí simulaci zavěšen na čtyřech lanech, se napětí na všech částech rámu značně zvětšilo. Velkou nevýhodou konstrukce během manipulace oproti pracovnímu režimu je nefunkčnost prostředních stojin. V detailu obrázku 19 lze vidět maximální napětí – 177 MPa, které se nachází na místech spojení stojiny a zadního podélného nosníku, neboť k tomuto nosníku jsou posunutá všechna těžiště uvažovaných zatížení. Jak lze dále vidět v detailu, další kritickou oblastí je část zadní stěny stojiny, neboť zde dochází ke změně přenosu ohybového napětí na střihové napětí.



Obr. 19: Režim manipulace rámu pro více bloků; napětí redukováné podle podmínky HMM, zobrazení nedeformované, top/bottom shell, rozsah zobrazeného napětí 0 – 180 MPa

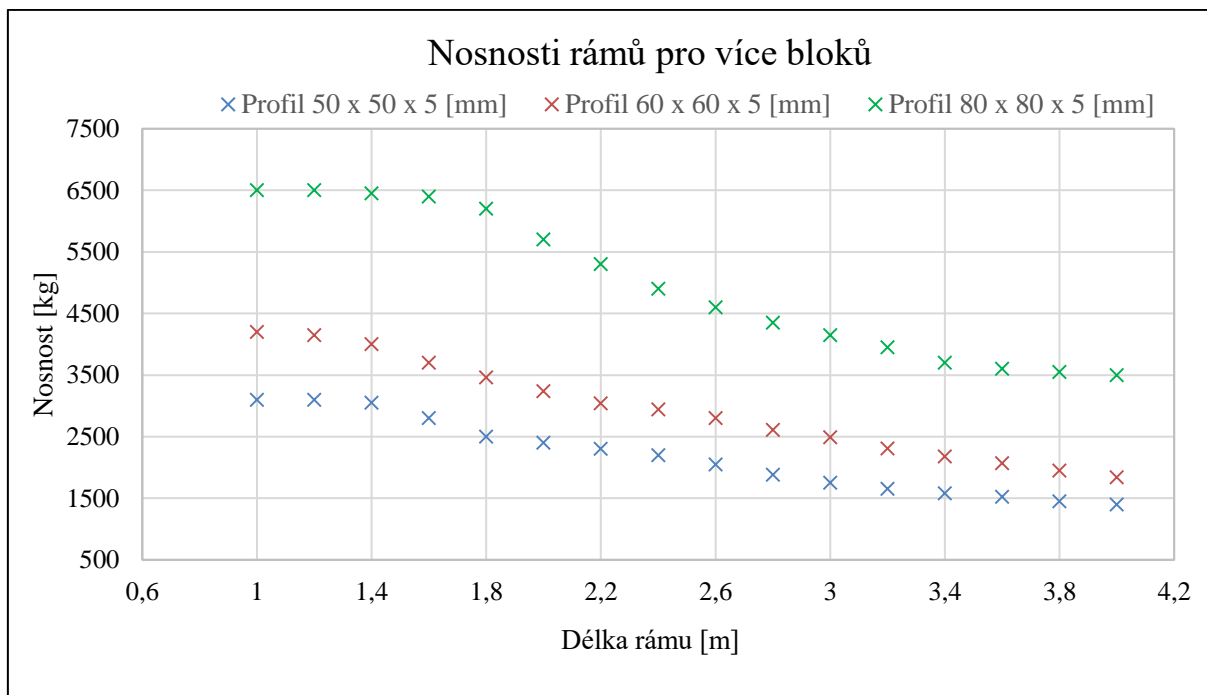
3.3.5 STANOVENÉ NOSNOSTI RÁMU PRO VÍCE BLOKŮ

V následující tabulce 5 jsou uvedeny hodnoty nosnosti rámu, které byly určeny z výsledků pevnostních analýz. Tyto analýzy byly provedeny pro oba zmíněné zatěžovací stavy, ale všechny uvedené hmotnosti jsou výstupem pro zatěžovací stav manipulace, kdy je celá konstrukce více namáhána. Během simulací byly dodrženy zatěžovací podmínky stanovené v kapitole 3.3.2. Při zatížení konstrukce maximální hmotností řídicích bloků, nedošlo na celém rámu k překročení dovoleného napětí. Nejvyšší napětí dosahovalo hodnot 175 – 179 MPa. Pro lepší znázornění závislosti nosnosti na délce a použitým profilu byl vytvořen graf 1.

Jak lze vidět v tabulce 5 a grafu 1, s rostoucí délkou konstrukce zjištěné nosnosti klesají. Nerovnoměrné změny nosností různě dlouhých rámu jsou také způsobeny proměnlivou polohou, počtem a rozměry řídicích bloků stanovených dle již zmíněných zatěžovacích podmínek, které rám zatěžují. Bylo zjištěno, že uzavřený čtvercový profil 60 x 60 mm má oproti profilu 50 x 50 mm nosnost vyšší přibližně o 30 % a profil 80 x 80 mm přibližně o 120 %. Všechny použité čtvercové uzavřené profily mají tloušťku stěny 5 mm. Hodnoty nosnosti, kdy jeden blok váží více jak 4 000 kg, jsou pouze orientační, protože samotný blok s takovou hmotností se ve firmě BR nepoužívá.

Tabulka 5: Nosnosti rámu pro více bloků

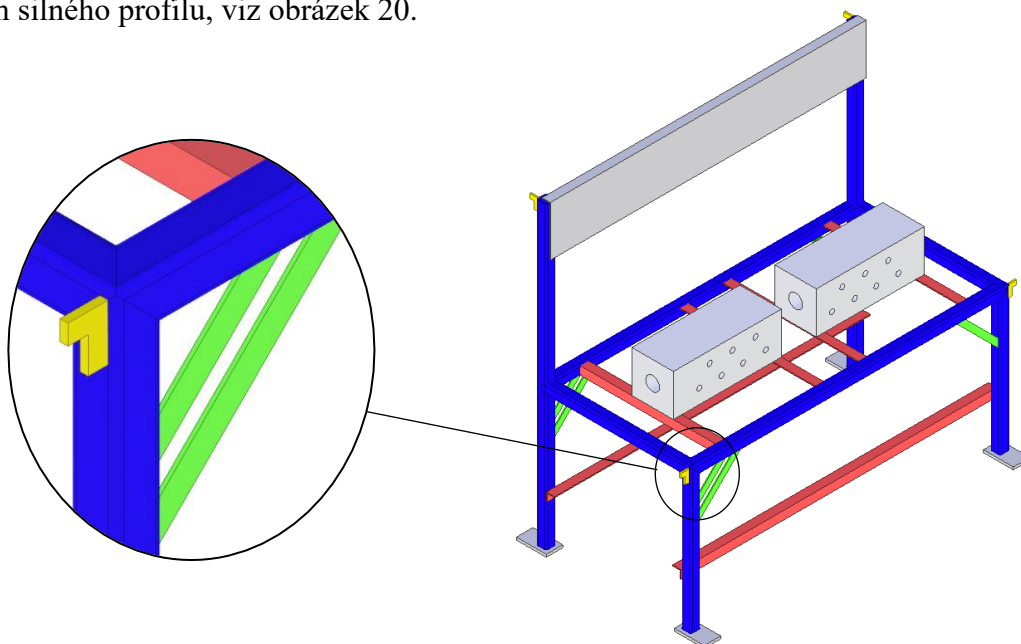
Délka rámu [m]	Nosnosti jednotlivých profilů [kg]		
	50 x 50 mm	60 x 60 mm	80 x 80 mm
1,0	3100	4200	6500
1,2	3100	4150	6500
1,4	3050	4000	6450
1,6	2800	3700	6400
1,8	2500	3450	6200
2,0	2400	3250	5700
2,2	2300	3050	5300
2,4	2200	2950	4900
2,6	2050	2800	4600
2,8	1850	2600	4350
3,0	1750	2500	4150
3,2	1650	2300	3950
3,4	1580	2180	3700
3,6	1500	2050	3600
3,8	1450	1950	3550
4,0	1400	1850	3500



Graf 1: Nosnosti ráků pro více bloků

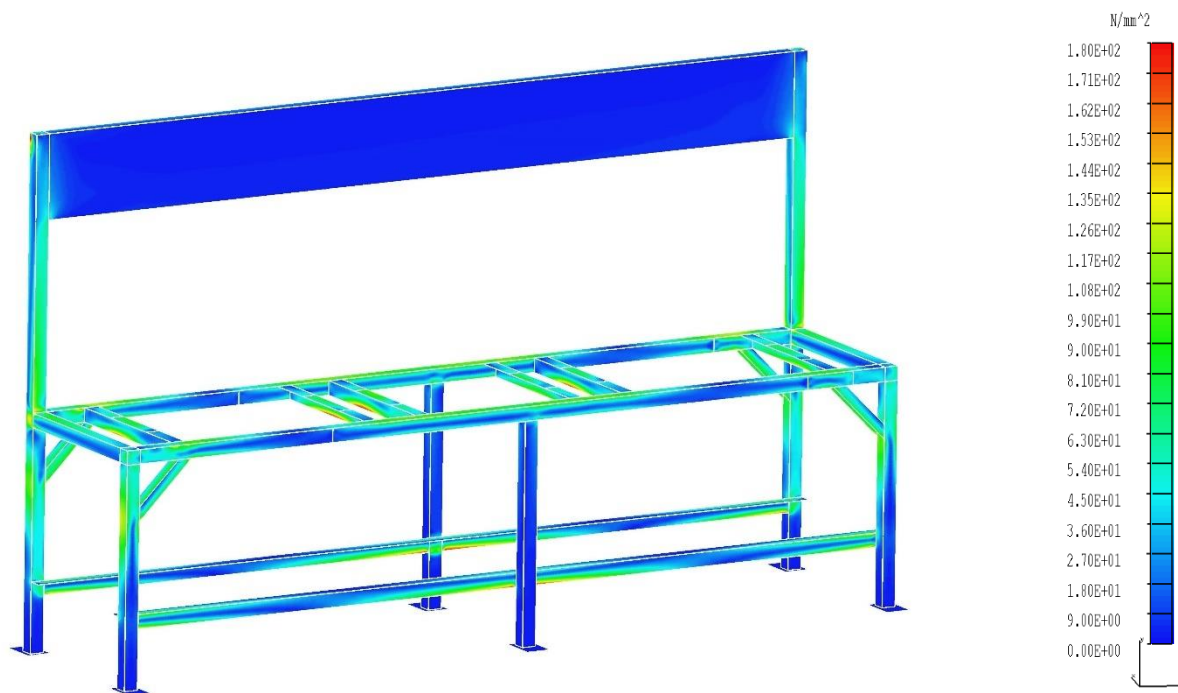
3.4 NÁVRH ZLEPŠENÍ KONSTRUKCE RÁMU PRO VÍCE BLOKŮ

Z výsledků analýz obou zatěžovacích režimů vyplývá, že konstrukce zatížená stanovenou nosností při umístění na podlaze, nevyužívá zcela potenciál rámu. Proto byl vytvořen návrh snadné úpravy stávající konstrukce, s cílem zvýšit nosnost rámu během manipulace. Jak lze vidět na obrázku 19, při zavěšení rámu na čtyřech lanech je nekritičtější místem oblast spojení nosníků a stojin. Z toho důvodu byl rám v těchto místech vybaven dvěma žebry z tyčového 5 mm silného profilu, viz obrázek 20.



Obr. 20: Upravená konstrukce rámu pro více bloků

Díky této jednoduché a finančně nenáročné úpravě, se nosnost rámu zvýšila až o 43 %. Například pro 3 m dlouhý rám z uzavřeného čtvercového profilu 50 x 50 x 5 mm se nosnost rámu změnila z 1 750 kg na 2 500 kg. Na obrázku 21 je vidět pevnostní analýza takto zatíženého rámu během manipulace. Celkově se napětí na celé konstrukci zvýšilo, ale nepřesáhlo hodnotu dovoleného napětí.



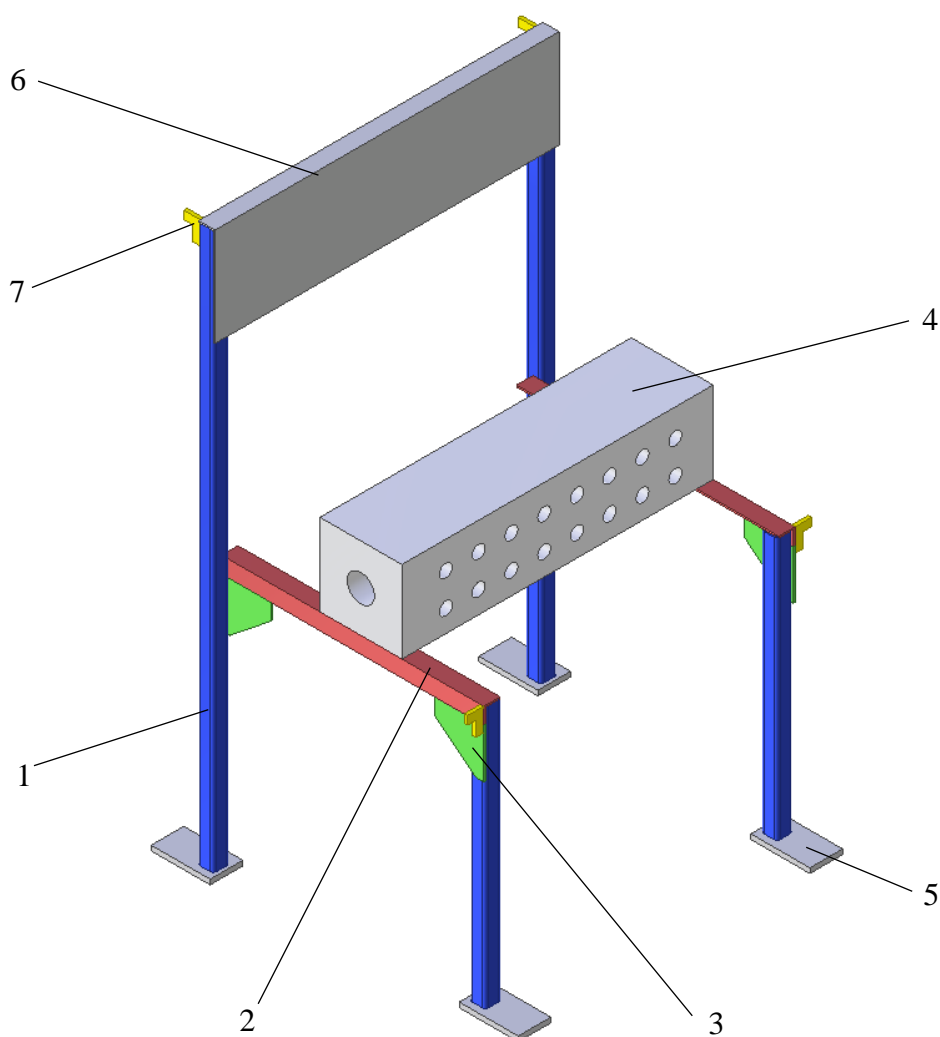
Obr. 21: Rám pro více bloků s výztuhami během manipulace, napětí redukované podle podmínky HMM, zobrazení nedeformované, top/bottom shell, rozsah zobrazeného napětí 0 – 180 MPa

3.5 PEVNOSTNÍ ANALÝZA RÁMU PRO JEDEN BLOK

Cílem pevnostní analýzy rámu pro jeden blok je zjištění výskytu maximálního napětí za účelem následné vhodné úpravy stávající konstrukce. Tvar analyzované konstrukce vychází z koncepce rámu uvedeného v kapitole 2.1.4.

3.5.1 ANALYZOVANÝ MODEL RÁMU PRO JEDEN BLOK

Analyzovaný rám se skládá, podobně jako předchozí, ze čtyř stojin vyrobených ze čtvercového uzavřeného profilu 50 x 50 x 5 mm které mají na spodní straně přivařené dosedací patky o rozměrech 150 x 100 x 10 mm. Stojiny jsou spojeny nosníky z L profilu 50 x 50 x 5 mm, jejichž vnější hrany jsou od sebe vzdáleny přesně 1 m. K podélnému spojení těchto nosníků je využita velmi vysoká tuhost samotného řídicího bloku, který je k nim připevněn několika šrouby. Tím dojde k úspoře materiálu potřebného pro podélné nosníky a také hmotnosti rámu. Pro vyšší tuhost je spojení příčníků a stojin vyztuženo 5 mm silnými žebry lichoběžníkového tvaru. Ke stojinám jsou dále přivařeny náhrady závěsných ok a také 3 mm silná plechová stěna pro uchycení manometrů. Obrázek 22 analyzovaného rámu pro jeden blok, je na další straně.



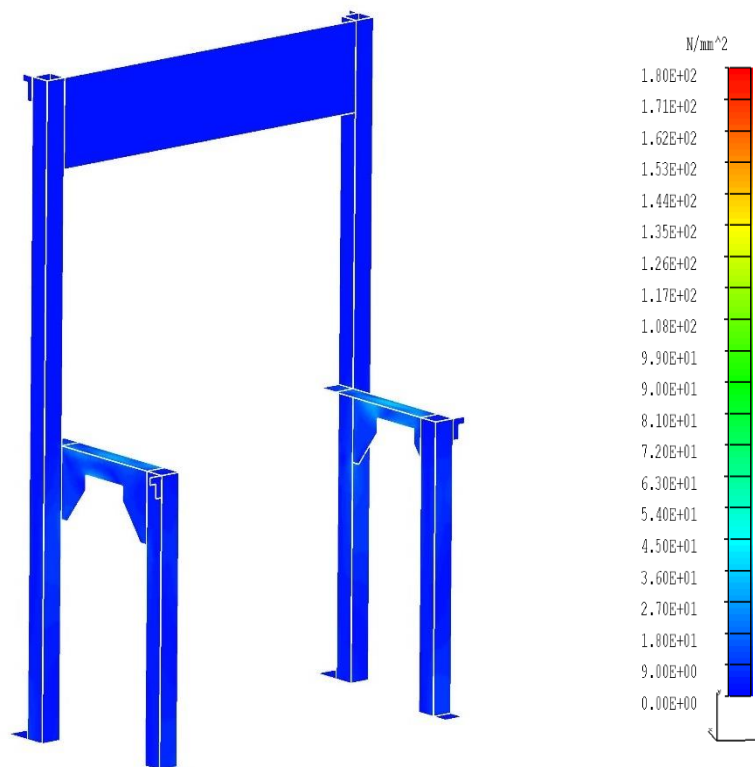
Obr. 22: Analyzovaná podoba rámu pro jeden blok: 1 stojina, 2. L příčník, 3. vyztužovací žebro, 4. řídicí blok, 5. dosedací patka, 6. zadní stěna, 7. závěsné oko

3.5.2 ZPŮSOB ZATĚŽOVÁNÍ RÁMU PRO JEDEN BLOK

Zatížení druhého rámu je mnohem jednodušší než u předchozí konstrukce. Na rám je umístěn monolitický ventilový blok o rozměrech 1,0 x 0,25 x 0,25 m a hmotnosti 800 kg. Blok je umístěn na střed příčníků. Stejně jako v předchozí analýze bylo uvažováno maximální posunutí těžiště 50 mm v příčném a 80 mm v podélném směru.

3.5.3 PRACOVNÍ REŽIM RÁMU PRO JEDEN BLOK

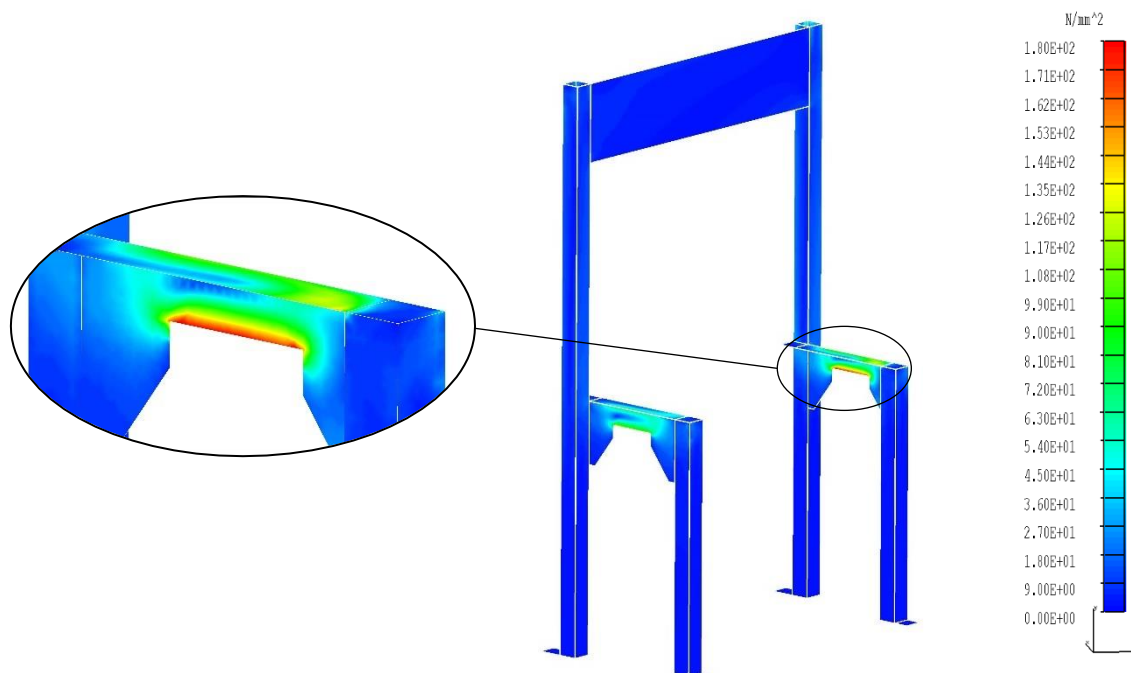
Na obrázku níže je vidět pevnostní analýza pro případ kdy je konstrukce ukotvená k podlaze a zatížená jedním ventilovým blokem. Tato zátěž při pracovním režimu způsobuje na celém rámu poměrně malé namáhání. Na samotných stojinách napětí nepřekračuje 20 MPa. Maximální napětí se nachází na příčniku nad vyztužovacím žebrem. Na tomto místě dochází k velkému zvýšení tuhosti, proto vzniká koncentrace napětí, která ale dosahuje nejvyšší hodnoty pouze 36 MPa.



Obr. 23: Pracovní režim rámu pro jeden blok; napětí redukováné podle podmínky HMM, zobrazení nedeformované, top/bottom shell, rozsah zobrazeného napětí 0 – 180 MPa

3.5.4 MANIPULACE RÁMU PRO JEDEN BLOK

Oproti pracovnímu režimu vyvolává na konstrukci režim manipulace značně vyšší namáhání, což lze vidět na obrázku 24. Kritickým místem je svislá stěna L příčnicku, která je hlavním spojujícím prvkem stojin a při zavěšení rámu na lanech zde působí velké ohybové napětí. Hodnota napětí zde dosahuje 178 MPa. Z toho důvodu budou návrhy úpravy rámu pro jeden blok zaměřeny na změnu tvaru a profilu příčnicků nesoucích řídicí blok. Z analýz obou zatěžovacích stavů také vyplývá, že současný způsob manipulace s rámem je velice nevýhodný, protože nosnost rámu při pracovním režimu je několikanásobně vyšší, a to 3 400 kg.



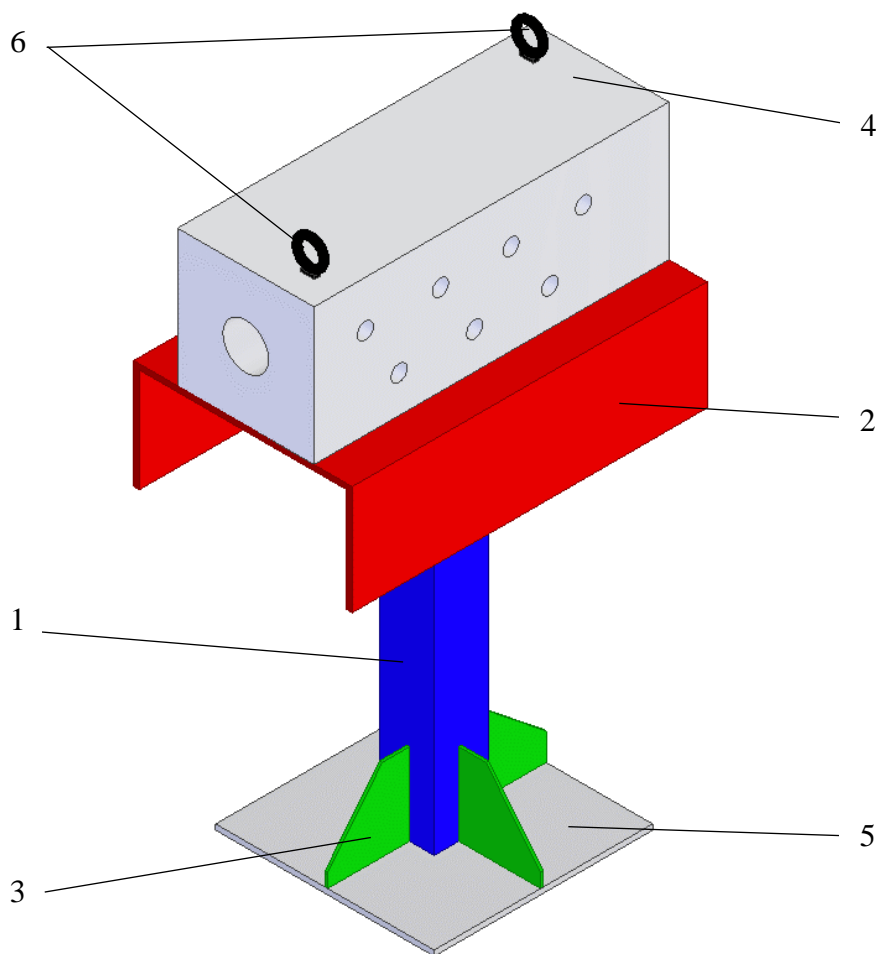
Obr. 24: Režim manipulace rámu pro jeden blok; napětí redukováné podle podmínky HMM, zobrazení nedeformované, top/bottom shell, rozsah zobrazeného napětí 0 – 180 MPa

3.6 PEVNOSTNÍ ANALÝZA KONZOLOVÉHO RÁMU

Cílem analýzy konzolového rámu je zjištění maximálního možného zatížení pro různě veliké profily pro stojinu konstrukce. Použité jsou celkem čtyři rozměrové řady uzavřených profilů: 50 x 50, 60 x 60, 80 x 80 a 100 x 100 mm, všechny o tloušťce stěny 5 mm. Celkem tedy byly vytvořeny čtyři modely, na kterých byla provedena simulace zatěžování. Hmotnost řídicího bloku byla zvyšována, dokud hodnota nejvyššího namáhání nepřekročila dovolené napětí. U konzolového rámu nebyla provedena analýza pro stav manipulace, neboť závěsná oka jsou umístěna na samotném řídicím bloku, který představuje majoritní podíl na hmotnosti celého rámu, tudíž samotná konstrukce během manipulace není namáhána.

3.6.1 ANALYZOVANÝ MODEL KONZOLOVÉHO RÁMU

Model analyzovaného konzolového rámu je velice jednoduchý. Jak lze vidět na obrázku 25, skládá se pouze z jedné stojiny z uzavřeného čtvercového profilu, na kterém je přivařena deska z ohýbaného 10 mm silného plechu. Na spodní konec stojiny je přivařena dosedací patka o rozměrech 400 x 400 x 10 mm. Pro vyšší tuhost spojení patky a stojiny je rám opatřen třemi lichoběžníkovými žebry z 10 mm silného plechu.



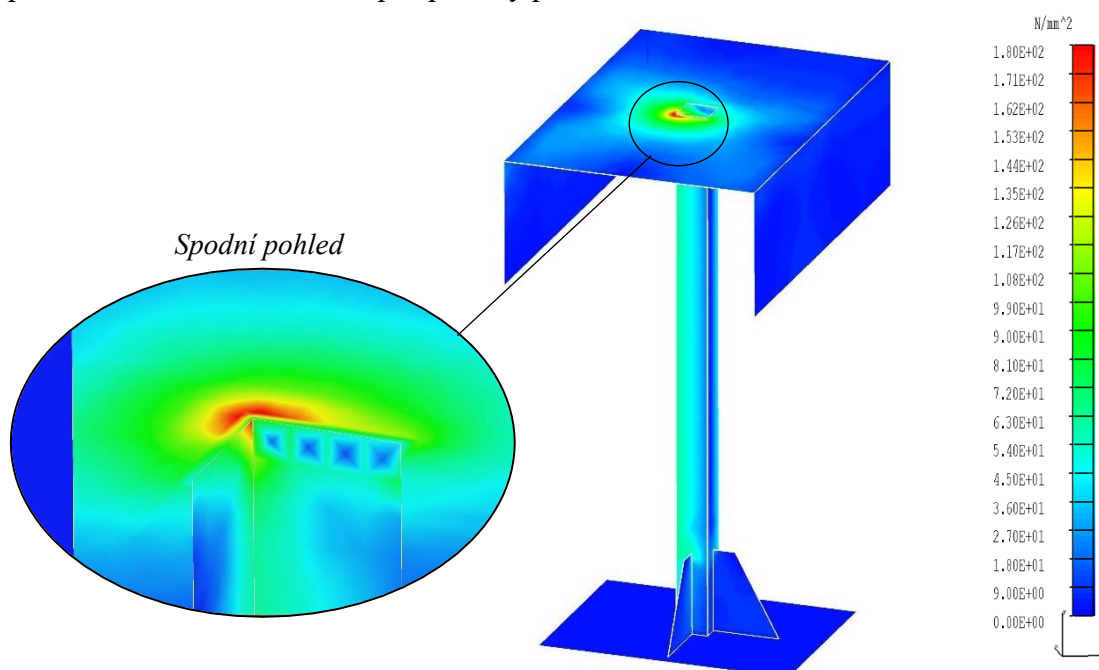
Obr. 25: Analyzovaná podoba konzolového rámu: 1. stojina, 2. nosná deska, 3. vyztužovací žebro, 4. řídicí blok, 5. dosedací patka, 6. závěsná oka

3.6.2 ZPŮSOB ZATĚŽOVÁNÍ KONZOLOVÉHO RÁMU

Působení zatížení od jednoho 250 mm širokého monolitického řídicího bloku je uvažováno ve středu horní desky po celé její délce, viz obrázek 25. Stejně jako v předchozí analýze je aplikováno maximální posunutí těžiště.

3.6.3 PRACOVNÍ REŽIM KONZOLOVÉHO RÁMU

Na obrázku je zobrazena simulace konzolového rámu se stojinou ze čtvercového uzavřeného profilu 50 x 50 x 5 mm zatíženým 700 kg těžkým řídicím blokem. Obecně jsou více namáhány části rámu na straně posunutého těžiště. Kritické místo se nachází v oblasti přechodu horní desky a stojiny, kde napětí téměř dosahuje hodnoty dovoleného napětí 179 MPa, viz detail obrázku 26. Toto napětí je vyvoláno velkým rozdílem tuhostí obou prvků a dochází zde k jeho koncentraci. Další více namáhanou oblastí je okolí hrany stojiny, která se nachází pod těžištěm, a to z důvodu naklánění stojiny pod tíhou bloku. Hodnoty napětí v těchto oblastech byly určující pro stanovení nosnosti rámu pro použitý profil.



Obr. 26: Pracovní režim konzolového rámu; napětí redukováné podle podmínky HMMH
zobrazení недеформované, top/bottom shell, rozsah zobrazeného napětí 0 – 180 MPa

3.6.4 STANOVENÉ NOSNOSTI KONZOLOVÝCH RÁMŮ

V tabulce 6 jsou uvedeny hodnoty maximálního možného zatížení pro daný profil stojiny. Následující tabulka zobrazuje nosnost konzoly, přičemž na celém rámu nedojde k překročení hodnoty dovoleného napětí. Dle očekávání se s rostoucím rozměrem profilu zvyšuje nosnost konzoly. Změny hodnot nosnosti nejsou způsobeny pouze rozdílnými mechanickými vlastnostmi profilů, ale také přibližováním těžiště k hraně stojiny, čímž vzniká menší ohybové napětí působící na nosnou desku a profil.

Tabulka 6: Nosnosti konzolových rámu

Rozměry profilu [mm]	Nosnost [kg]
50 x 50	700
60 x 60	850
80 x 80	1150
100 x 100	1500

3.6.5 KONTROLA VZPĚRNÉ STABILITY STOJINY KONZOLOVÉHO RÁMU

Pevnostní analýza provedena v programu NX-ideas neuvažuje namáhání na vzpěr, proto je kontrola mezního stavu vzpěrné stability provedena analyticky pro případ, že se těžiště ventilového bloku nachází přesně uprostřed profilu. Celý výpočet byl proveden dle skript [15].

Nejprve je nutné vypočítat pomocí rovnic (2), (3) a porovnat štíhlost λ [-] s mezní štíhlostí prutu λ_m [-] pro správné určení teorie na výpočet kritického napětí/síly. K určení štíhlosti prutu je nutné vypočítat poloměr setrvačnosti pomocí rovnice (1).

$$i = \sqrt{\frac{J}{S}} = \sqrt{\frac{270400}{836}} = \mathbf{17,98 \text{ mm}} \quad (1)$$

Kde: $i = 17,98 \text{ mm}$ poloměr setrvačnosti
 $J = 270\,400 \text{ mm}^4$ minimální kvadratický moment průřezu [11]
 $S = 836 \text{ mm}^2$ plocha průřezu [11]

$$\lambda = \frac{L}{i} = \frac{800}{17,98} = \mathbf{44,48} \quad (2)$$

Kde: $\lambda = 44,48$ [-] štíhlost stojiny
 $L = 800 \text{ mm}$ délka stojiny do žebrového vyztužení
 $i = 17,98 \text{ mm}$ poloměr setrvačnosti

$$\lambda_m = \sqrt{\frac{n \cdot \pi^2 \cdot E}{R_e}} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot 210000}{4 \cdot 235}} = \mathbf{46,96} \quad (3)$$

Kde: $\lambda_m = 46,96$ [-] mezní štíhlost stojiny
 $n = 0,25$ [-] konstanta pro jednostranně vetknutý prut
 $E = 210\,000 \text{ MPa}$ modul pružnosti
 $R_e = 235 \text{ MPa}$ mez kluzu materiálu [13]

Jak lze snadno vidět $\lambda < \lambda_m$, proto pro zjištění kritického napětí bude použita Tetmajerova metoda. Ta spočívá ve stanovení přímky $\sigma_{kr} = A - B \cdot \lambda$, která je znázorněna na obrázku 27. Parametry přímky A, B se pro danou ocel stanovují experimentálně, lze ale získat i orientační hodnoty z podmínek: $\lambda = \lambda_m \wedge \sigma_{kr} = R_e$; $\lambda = \lambda_p \wedge \sigma_{kr} = R_m$ pro které se sestaví soustava dvou rovnic (4) a (5). Řešením této soustavy jsou hodnoty parametru A, B kterými je určena rovnice přímky σ_{kr} , pomocí které se vypočítá kritická síla a napětí.

$$\lambda = \lambda_m \wedge \sigma_{kr} = R_e \quad A - B \cdot \lambda = \sigma_{kr} \quad A - B \cdot 46,96 = 235 \quad (4)$$

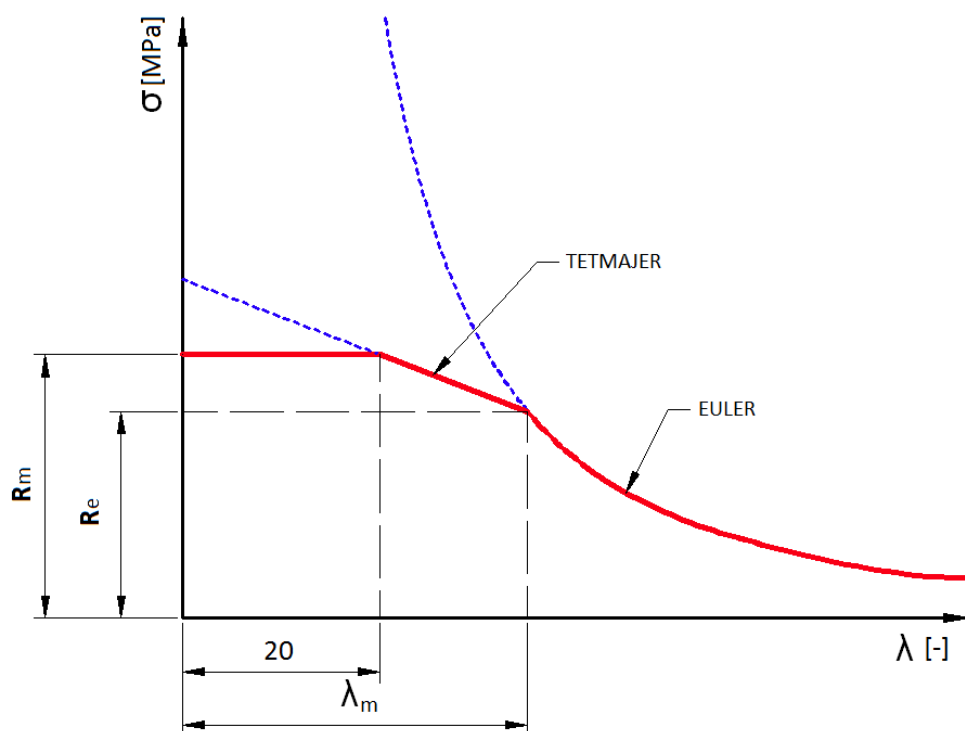
$$\lambda = 20 \wedge \sigma_{kr} = R_m \quad A - B \cdot \lambda = \sigma_{kr} \quad A - B \cdot 20 = 360 \quad (5)$$

$$A = \mathbf{452,6 \text{ [MPa]}} \quad B = \mathbf{4,63 \text{ [MPa]}}$$

$$\text{Kritické napětí je tedy } \sigma_{kr} = A - B \cdot \lambda = 452,6 - 4,63 \cdot 44,48 = \mathbf{246,66 \text{ MPa}} \quad (6)$$

$$\text{Kritická síla se snadno dopočítá } F_{kr} = \sigma_{kr} \cdot S = 246,66 \cdot 836 = \mathbf{206,2 \text{ kN}} \quad (7)$$

Z hodnoty kritické síly tedy vyplývá, že při zatížení 700 kg (6 865 N) k meznímu stavu vzpěrné stability určitě nedojde.



Obr. 27: Graf závislosti kritického napětí na štíhlosti, použitý pro určení vhodné metody výpočtu (převzato a upraveno z [15])

4 ANALÝZA VÝJIMEČNÝCH ZATĚŽOVACÍCH STAVŮ

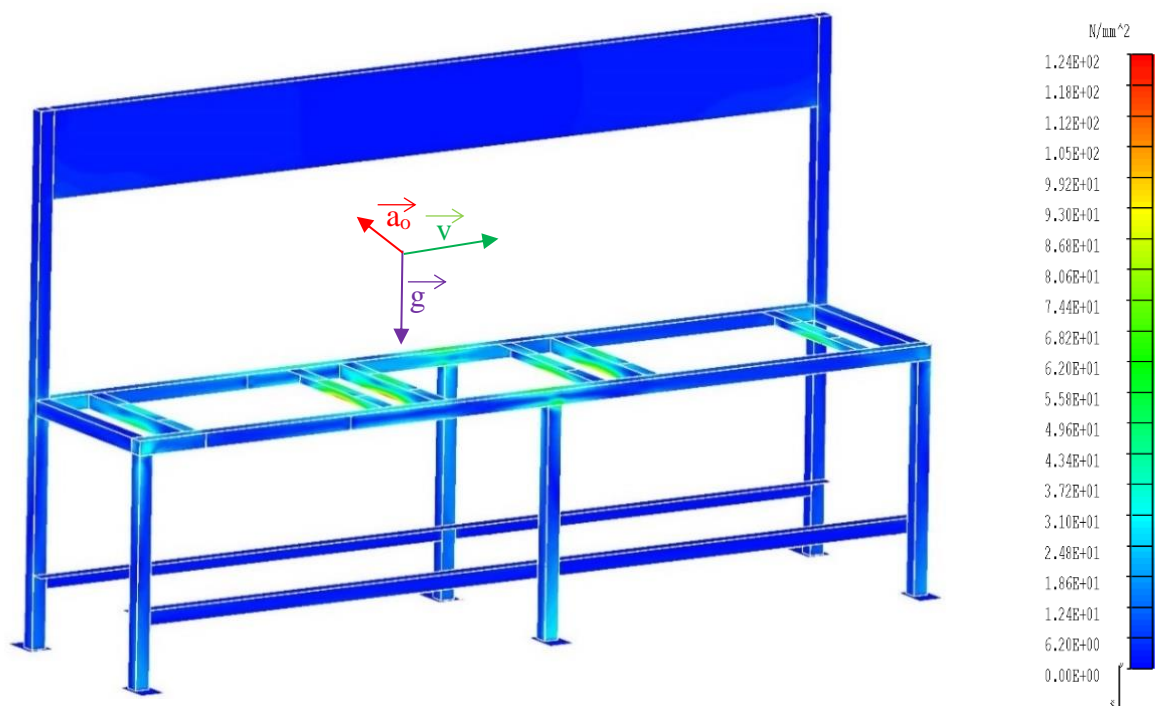
V této kapitole jsou popsány pevnostní analýzy rámu pro zatěžovací stavy, které se během životnosti ventilového stolu mohou objevit, ale nejsou běžně analyzovány. Tyto stavy způsobují na konstrukcích odlišné namáhání oproti již simulovanému běžnému pracovnímu režimu, nebo režimu manipulace pomocí jeřábu.

4.1 PŘEPRAVA VENTILOVÉHO STOLU NÁKLADNÍM AUTEM V ZATÁČCE

Během přepravy ventilového stolu k zákazníkovi může dojít k několika situacím, které mohou způsobit zvýšené namáhání rámu. Typickým příkladem je průjezd zatáčkou maximální povolenou rychlostí. Pro ukázkou tohoto zatěžovacího stavu byl vybrán ventilový stůl pro více bloků o délce 3 m, vytvořený uzavřeným čtvercovým profilem 50 x 50 x 5 mm. Stejně jako v případě pracovního režimu byl rám zatížen třemi řídicími bloky o celkové hmotnosti 1 750 kg a ukotven k podlaze korby nákladního auta. Kromě působení tíhového zrychlení g ($9,807 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$) bylo uvažováno působení odstředivého zrychlení a_o [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$], působící kolmo ke směru jízdy. Velikost tohoto zrychlení se snadno určí z všeobecně známé rovnice (8):

$$a_o = \frac{v^2}{R} = \frac{25^2}{1200} = 0,52 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \quad (8)$$

Kde: $a_o = 0,52 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ odstředivé zrychlení
 $v = 25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ maximální povolená rychlost
 $R = 1200 \text{ m}$ minimální poloměr zatáčky pro rychlosti do $25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ [16]



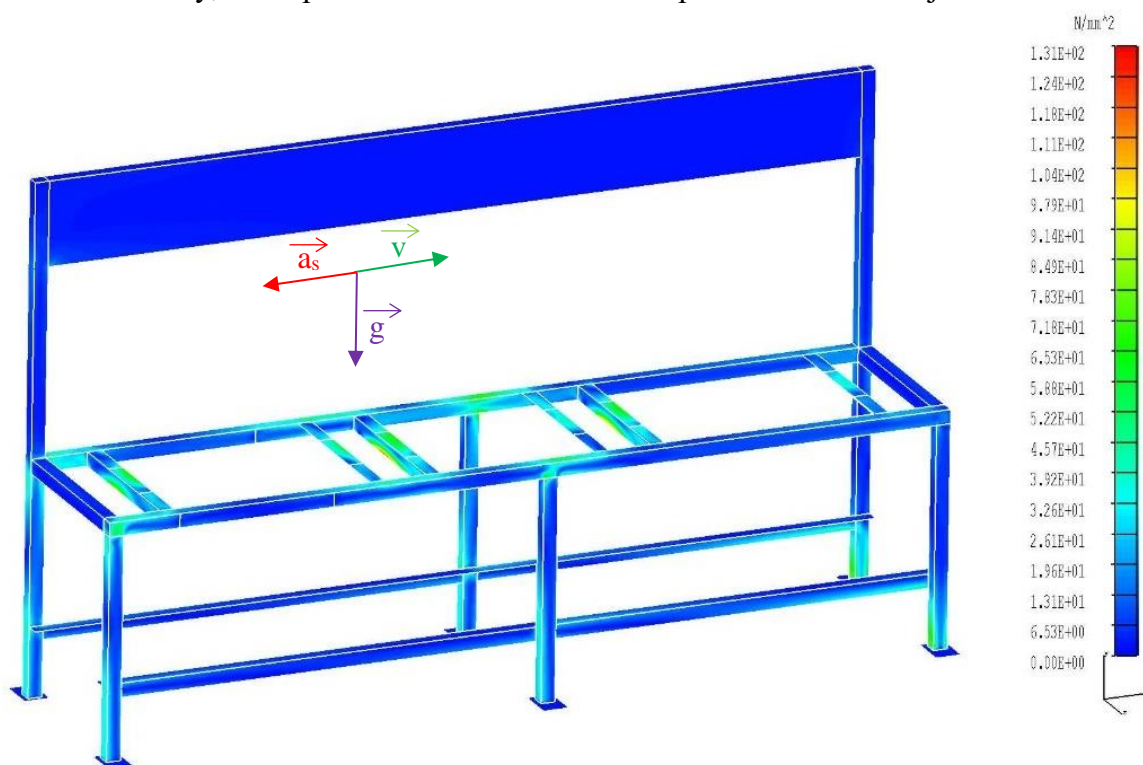
Obr. 28: Přeprava rámu pro více bloků při jízdě v zatáčce; napětí redukováné podle podmínky HMM, zobrazení nedeformované, top/bottom shell, rozsah zobrazeného napětí 0 – 124 MPa

Jak lze vidět na obrázku 28, v porovnání s pracovním režimem se namáhání rámu jen lehce zvýšilo. Maximální napětí nacházející se na L příčnicích se vzrostlo ze 120 MPa na 124 MPa. Oproti pracovnímu režimu se také zvýšilo namáhání spodních částí prostředních stojin.

4.2 PŘEPRAVA VENTILOVÉHO STOLU NÁKLADNÍM AUTEM PŘI BRZDĚNÍ

Další situací, která může během přepravy nastat a zvýšit namáhání rámu je prudké brzdění. Pro analýzu tohoto stavu byl vybrán stejný rám jako v předchozí kapitole. Rám je zatížen třemi bloky o celkové hmotnosti 1 750 kg, a kromě tíhového zrychlení g ($9,807 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$), působí na rám proti směru jízdy setrvačné zrychlení a_s [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]. Velikost tohoto zrychlení byla zvolena dle odborné studie [17, tabulka 1] na $a_s = 5,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

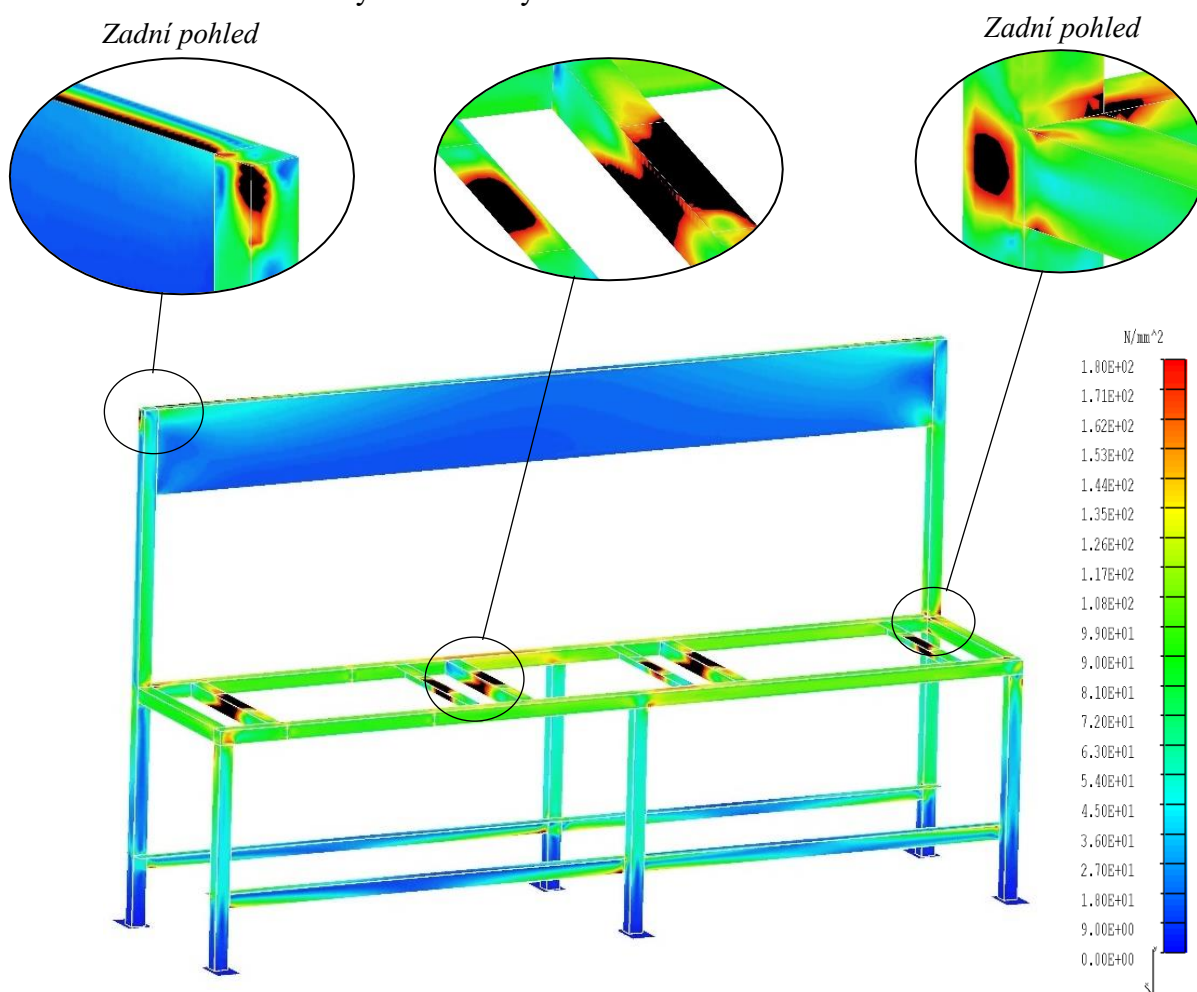
Pro případ brzdění je uvažováno celkové ukotvení pouze předních patek rámu, které se nachází v rohu mezi bočnicemi a čelem korby. Dalším patkám je během simulace umožněn posuv ve směru jízdy nákladního auta. Jak lze vidět na obrázku 29, maximální napětí oproti pracovnímu režimu vzrostlo o 11 MPa na 131 MPa. Nejvíce namáhanými prvky jsou stále L příčky nesoucí řídicí bloky, ale napětí také značně vzrostlo ve spodních částech stojin.



Obr. 29: Přeprava rámu pro více bloků při prudkém brzdění; napětí redukováno podle podmínky HMM, zobrazení nedeformované, top/bottom shell, rozsah zobrazeného napětí 0 – 131 MPa

4.3 MANIPULACE S RÁMEM ZAVĚŠENÉHO NA TŘECH LANECH

Během přemísťování rámu pomocí jeřábu může nastat situace, kdy je jedno lano nefunkční. To může být způsobeno například špatným uchycením lana na závěsné oko, nebo přetrhnutí lana vlivem únavy materiálu. Tento jev má za následek velké zvýšení napětí na celém rámu. Pro analýzu byl opět vybrán 3 m dlouhý rám pro více bloků zatížen celkovou hmotností 1 750 kg. Maximální napětí 430 MPa způsobené nefunkčností levého předního lana značně převyšuje hodnotu dovoleného napětí. Jak lze vidět v detailech obrázku 30, došlo například k utržení částí příčníků a značným deformacím v místech spojení nosníků a stojin. Kriticky namáhána je také celá zadní stěna i místo uchycení závěsných háků.

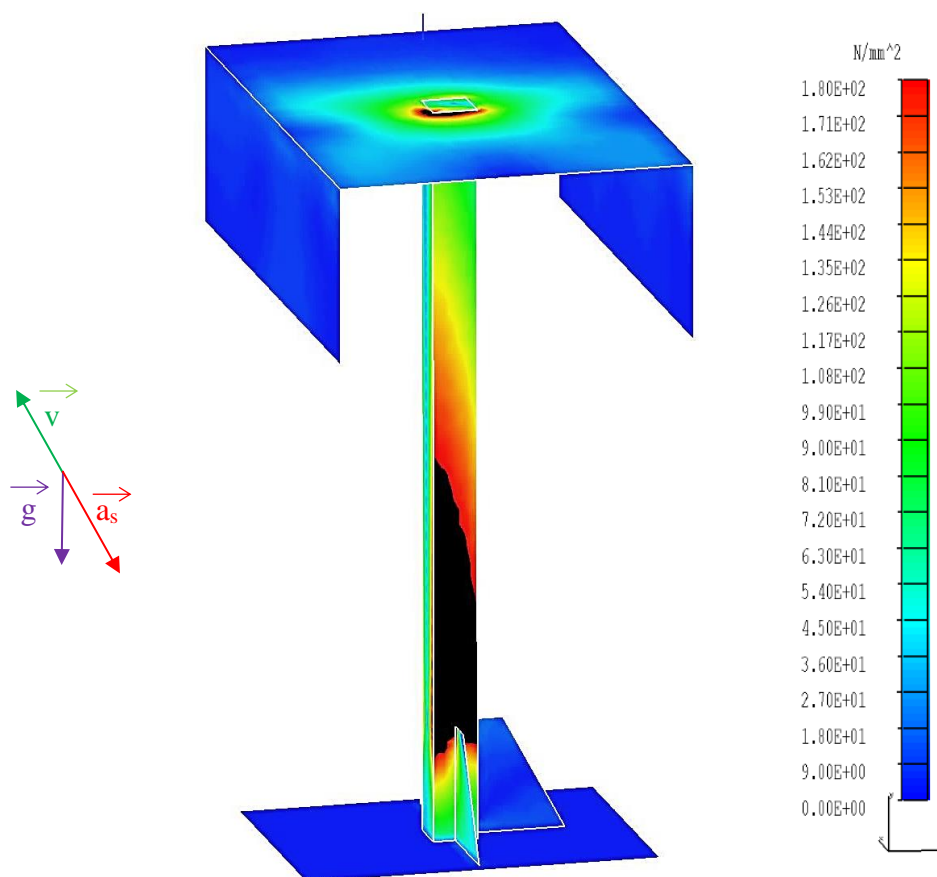


Obr. 30: Manipulace rámu pro více bloků zavěšeného na 3 lanech; napětí redukováné podle podmínky HMM, zobrazení nedeformované, top/bottom shell, rozsah zobrazeného napětí 0 – 180 MPa

4.4 PŘEPRAVA KONZOLOVÉHO RÁMU PŘI BRZDĚNÍ

Na rozdíl od rámu pro jeden blok, může přeprava nákladním autem u konzolových rámu vyvolat mnohem vyšší namáhání. To je způsobeno způsobem stanovení nosnosti konzolového rámu, který je během simulací umístěn na podlaze. Naproti tomu rám pro jeden blok zatížený určenou nosností je během ukotvení k podlaze značně předdimenzován. Během přepravy je konzolový rám pevně přišroubován k paletě, která je nehybně umístěna na korbě nákladního auta. Stejně jako v simulaci prudkého brzdění u rámu pro více bloků působí na konzoli setrvačné $a_s = 5,1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ a tíhové zrychlení $g = 9,807 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ [17].

Pro znázornění této analýzy byl vybrán konzolový rám se stojinou z uzavřeného čtvercového profilu 50 x 50 x 5 mm zatížený blokem vážícím 700 kg. Jak lze vidět na obrázku 31, během brzdění napětí vzniklé na několika místech konstrukce značně převyšuje hodnotu dovoleného napětí. Z toho důvodu musely být upraveny nosnosti všech konzolových rámu stanovené při pracovním režimu. Nově určené nosnosti jsou vypsány v tabulce 7.



Obr. 31: Přeprava konzolového rámu při prudkém brzdění; napětí redukováné podle podmínky HMM, zobrazení nedeformované, top/bottom shell, napětí redukováné podle podmínky HMM 0 – 180 MPa

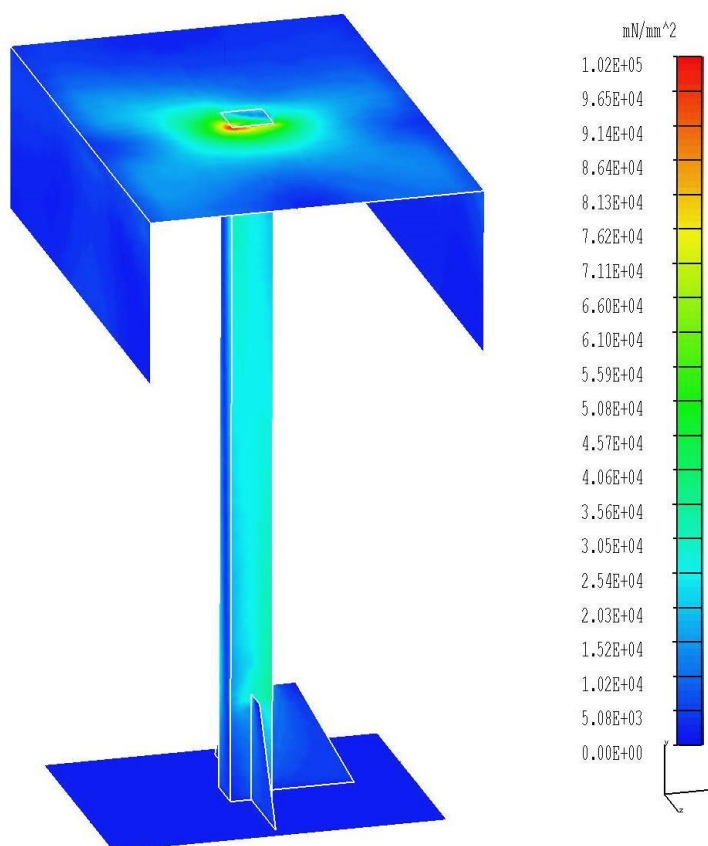
Tabulka 7: Nově určené nosnosti konzolových rámu

Rozměry profilu [mm]	Nosnost [kg]
50 x 50	400
60 x 60	550
80 x 80	800
100 x 100	1150

4.5 ZVEDÁNÍ KONZOLOVÉHO RÁMU POJÍZDNÝM ZAKLADAČEM

Ve firmě BR je s většinou konzolových rámu manipulováno pomocí jeřábu, jehož lana jsou uchycená za závěsná oka umístěná na řídicím bloku. Někdy se ale používá pojízdný zakladač, který zvedá paletu, ke které je rám přišroubován. Během této manipulace může dojít k naklonění palety, které má za důsledek zvýšení napětí na rámu konzoly. Analýzovaný konzolový rám se stojinou z uzavřeného čtvercového profilu 50 x 50 x 5 mm zatížený blokem o hmotnosti 400 kg byl během analýzy ukotven k podlaze za působení tíhového zrychlení ($g = 9,807 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$) vychýleného o 10° , což simulovalo podmínky naklonění palety s rámem.

Jak lze vidět na obrázku 32, napětí na konstrukci způsobené náklonem palety na pojízdném zakladači je mnohem menší než při prudkém brzdění nákladního auta. Maximální napětí nacházející se na horní desce je 102 MPa.



Obr. 32: Manipulace konzolového rámu při naklonění pojízdného zakladače; napětí redukováno podle podmínky HMM, zobrazení nedeformované, top/bottom shell, rozsah zobrazeného napětí 0 – 102 MPa

5 NÁVRHY NOSNÉHO RÁMU PRO JEDEN BLOK

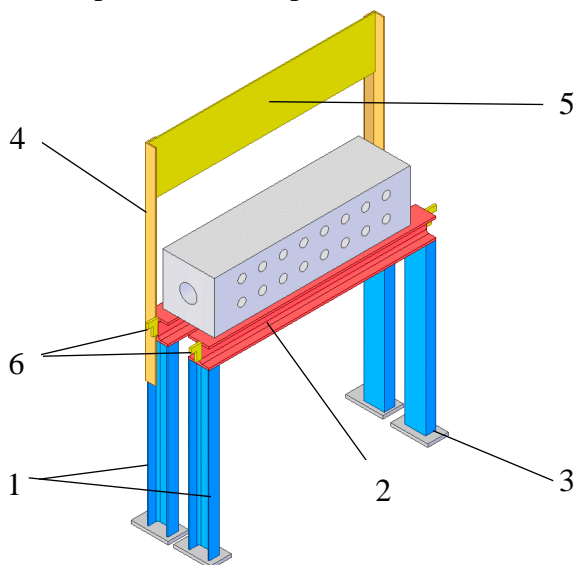
V této kapitole je popsáno a pevnostním výpočtem analyzováno několik návrhů rámu ventilového stolu pro jeden blok. Ve všech návrzích byly použity snadno unifikovatelné prvky konstrukce z běžně dostupných profilů.

Na navrhovaných konceptech rámu byla provedena pevnostní analýza pro režim manipulace stejně jako v předchozích simulacích. Na plochu nosníků bylo uvažováno zatížení od jednoho 1 m dlouhého monolitického bloku. Těžiště zatížení bylo posunuto o 80 mm v podélném a 50 mm v příčném směru. Hmotnost bloku byla zvyšována až na maximální hodnotu, dokud nejvyšší namáhání nepřekročilo dovolené napětí σ_d [MPa].

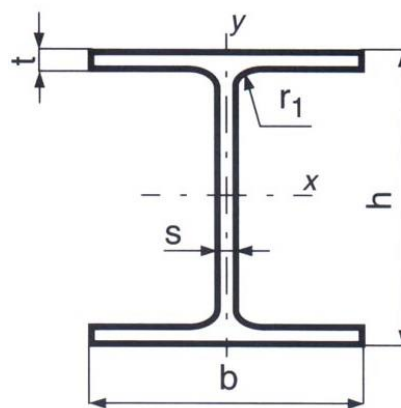
5.1 NÁVRH NOVÉ KONSTRUKCE 1

Hlavními prvky tohoto návrhu jsou dva podélné nosníky vyrobené z profilu HEB 100 (obr. 33). Tloušťka přírub použitého profilu t_{HEB} je 10 mm a svislé plochy s_{HEB} 6 mm. Výška průřezu h_{HEB} a šířka příruby b_{HEB} je shodně 100 mm. Tento profil byl zvolen z důvodu velké plochy přírub, na které se lépe rozloží hmotnost řídicího bloku, a také lze do ní jednoduše vyvrtat díry pro šrouby pro uchycení bloku. Běžné I profily z důvodu šikmých stěn tuto možnost nenabízí. Další výhodou použitého profilu je vysoká hodnota momentu setrvačnosti v ose x [11].

Čtyři stojiny z U 100 profilu jsou přivařené ke koncům nosníků. Za účelem menšího průhybu během pracovního režimu jejich poloha může být téměř libovolně posunuta ke středu nosníků. Ke spodní straně stojin jsou přivařeny dosedací patky o rozměrech 150 x 100 x 10 mm. Jak lze vidět na obrázku níže, na jedné straně rámu jsou k nosníkům přivařeny tyče z profilu L 50 x 50 x 5, které nesou 3 mm silnou zadní stěnu s manometry. V případě přivaření dalších profilů může konstrukce nést i elektrický rozvaděč. Závěsná oka pro uchycení lan během manipulace jsou ze strany přivařena ke svislé stěně nosníků. Pro tuto konstrukci bych doporučil použít okapovou vanu na podlaze. Hmotnost samotné konstrukce je 83,1 kg.



Obr. 33: Návrh nové konstrukce 1: 1. stojiny z U profilu, 2. HEB nosníky, 3. dosedací patky, 4. boční tyče, 5. zadní stěna, 6. závěsná oka

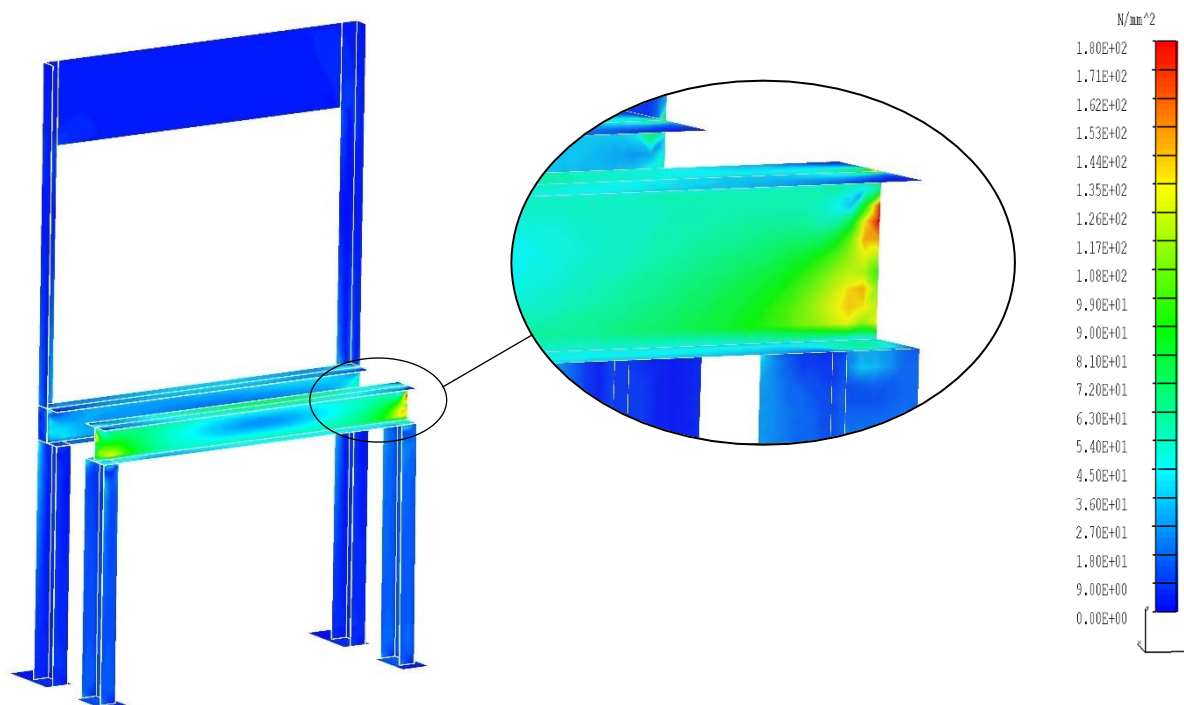


Obr. 34: HEB profil [11]

5.2 ANALÝZA NÁVRHU NOVÉ KONSTRUKCE 1

Na obrázku 35 je vidět pevnostní analýza pro režim manipulace rámu zatíženým blokem o hmotnosti 6 100 kg. Nejvíce namáhanou součástí rámu je přední nosník, ke kterému je posunuto těžiště. Nejvyšší napětí se nachází v místě spojení nosníku se závěsným okem a dosahuje hodnoty 179 MPa. Napětí na zbylých částech konstrukce dosahuje poměrně malých hodnot.

Z analýzy vyplývá, že největší výhodou této konstrukce je její vysoká nosnost a robustnost. Nevýhodou tohoto návrhu je nemožnost umístit závěsná oka nad těžiště bloku a tím znemožnit rotaci rámu během manipulace jeřábem, a také komplikované přivaření ok ke svislé ploše nosníku. Nevýhodou může být také malý rozchod stojin, který způsobuje nižší stabilitu proti možnému převrnutí.

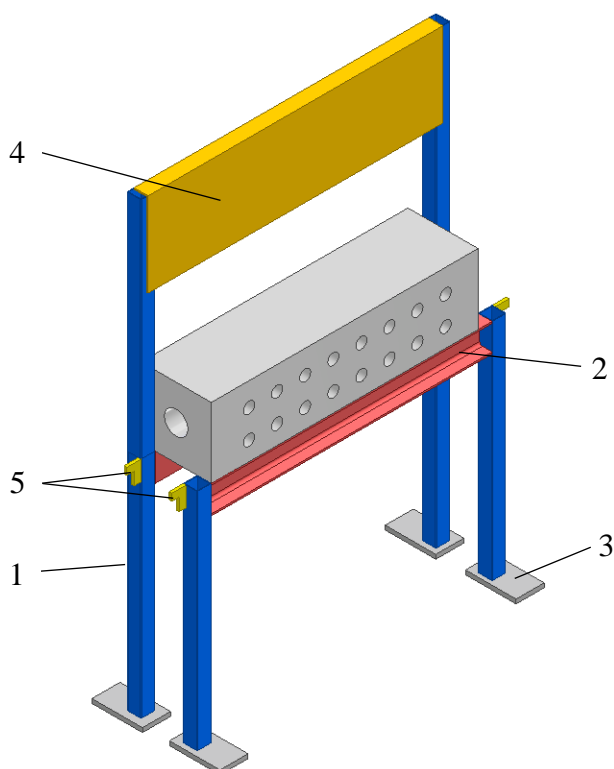


Obr. 33: Režim manipulace návrhu nové konstrukce 1; napětí redukované podle podmínky HMM, zobrazení nedeformované, top/bottom shell, rozsah zobrazeného napětí 0 – 180 MPa

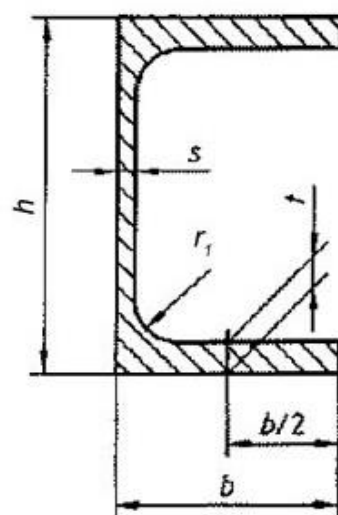
5.3 NÁVRH NOVÉ KONSTRUKCE 2

Na nosníky rámu druhého návrhu je použit profil UPE 80. Tento profil o výšce $h_{UPE} = 80$ mm a s tloušťkou stěny $s_{UPE} = 4$ mm má dostatečně široké a silné příruby ($b_{UPE} = 50$ mm, $t_{UPE} = 7$ mm) k vyvrtání děr pro šrouby k upevnění řídicího bloku. Nosníky jsou umístěny tak, aby se svislé stěny nacházely blíže k těžišti bloku [11].

K boční straně nosníků jsou přivařeny stojiny vyrobené z uzavřeného čtvercového profilu 50 x 50 x 5 mm. Ke spodku stojin jsou připevněny dosedací patky a k horní části zadních stojin je přivařena zadní stěna. Přidáním jednoduchých profilů může rám bez problémů nést i elektrický rozvaděč. Hmotnost této konstrukce je 49,1 kg. Pro tuto konstrukci je vhodná okapová vana umístěná nad podlahou. Tento návrh oproti předchozímu umožňuje umístění závěsných ok i na horní část zadních stojin za účelem zvýšení stability rámu při manipulaci.



Obr. 34: Návrh nové konstrukce 2: 1. stojina, 2. UPE nosník, 3. dosedací patka 4. zadní stěna, 5. závěsná oka

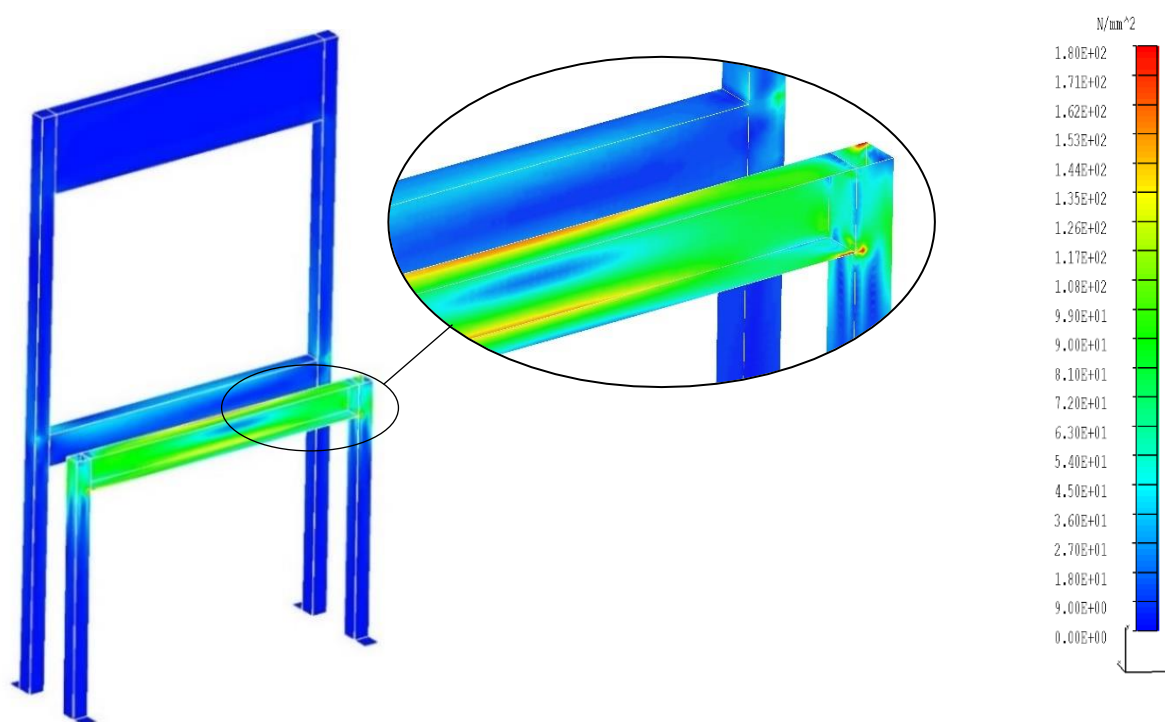


Obr. 35: UPE profil [11]

5.4 ANALÝZA NÁVRHU NOVÉ KONSTRUKCE 2

Rám návrhu 2 byl analyzován za působení zatížení od ventilového bloku o hmotnosti 4 500 kg. Bylo potvrzeno, že mnohem více je namáhán přední nosník, ke kterému je posunuto těžiště. Nejvyšší napětí o velikosti 179 MPa se nachází v místě spojení nosníku se stojinou, kvůli velkému zvýšení tuhosti profilu, která způsobuje vysokou koncentraci napětí. Dalším vysoce namáhaným místem je střed nosníku. Napětí na zbylých částech konstrukce nabývá poměrně malých hodnot.

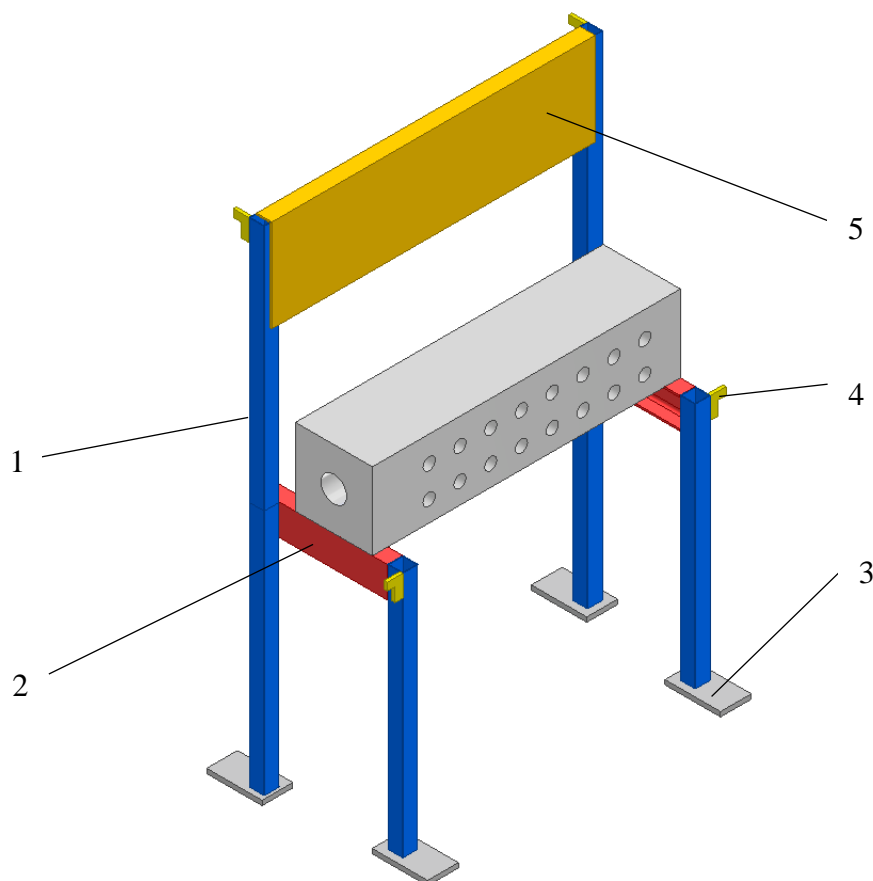
Tato konstrukce má velmi vysokou nosnost, ale oproti prvnímu návrhu mnohem nižší hmotnost, a také může mít závěsná oka přivařena na vrch stojin. Nevýhodou je rámu je malý rozchod stojin.



Obr. 36: Režim manipulace návrhu nové konstrukce 2; napětí redukováné podle podmínky HMM, zobrazení nedeformované, top/bottom shell, napětí, rozsah zobrazeného napětí 0 – 180 MPa

5.5 NÁVRH NOVÉ KONSTRUKCE 3

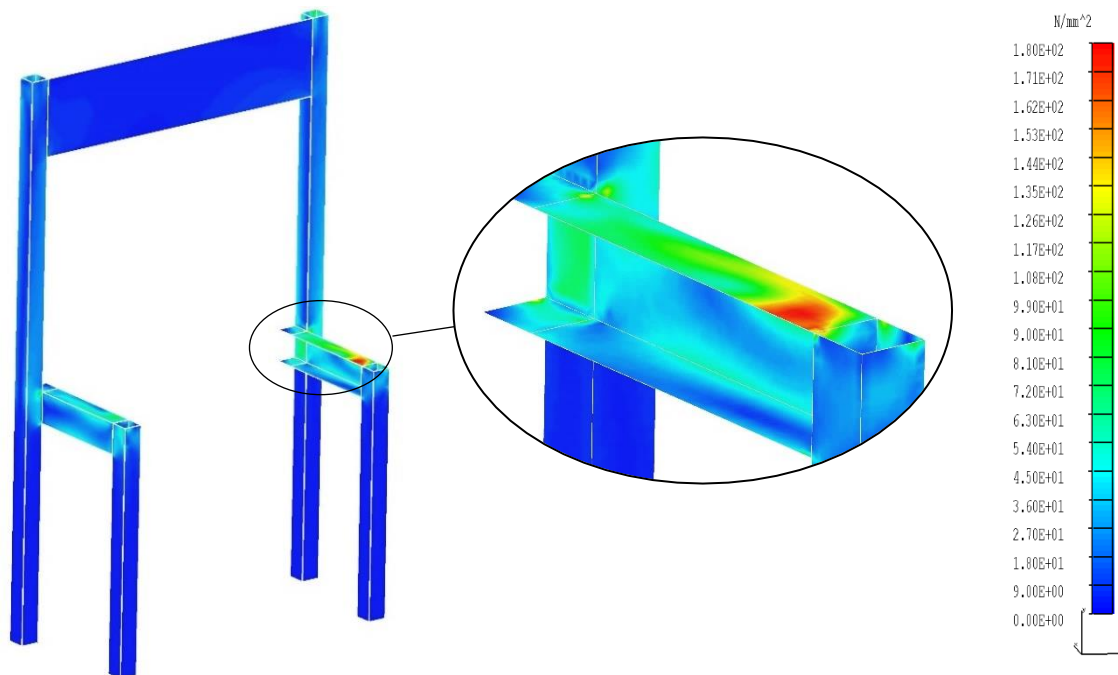
Tento návrh tvarem vychází z původní konstrukce. Stojiny vyrobené z uzavřeného čtvercového profilu 50 x 50 x 5 mm jsou příčně spojeny nosníky UPE 80. Tyto profily se dají dobře spojit, neboť šířka přírub příčníků UPE profilu je stejná jako délka hrany stojin. Celková hmotnost samotné nosné konstrukce je 39,6 kg. Výhodou tohoto návrhu oproti předchozím variantám je možnost přidělat na boční strany ventilového bloku řídicí prvky i v okolí zadních stojin. Nevýhodou tohoto návrhu je menší velikost plochy, na které se rozkládá hmotnost bloku.



Obr. 37: Návrh nové konstrukce 3: 1. stojina, 2. UPE nosník, 3. dosedací patka, 4. závěsné oko, 5. zadní stěna

5.6 ANALÝZA NÁVRHU NOVÉ KONSTRUKCE 3

Jak lze vidět na obrázku 40, nejvíce namáhaným prvkem je pravý nosník. Maximální napětí při zatížení konstrukce blokem o hmotnosti 1 700 kg zde dosahuje hodnoty 177 MPa. Na zbylé části konstrukce napětí dosahuje malých hodnot. Na stojinách byla vyzkoušena i analýza pro jiný čtvercový profil 50 x 50 x 4 mm za účelem snížení hmotnosti a ceny konstrukce, došlo ale k velkému nárůstu napětí v místech přivaření nosníků a také v oblasti uchycení závěsných ok.



Obr. 38: Režim manipulace návrhu nové konstrukce 3; napětí redukované podle podmínky HMMH, zobrazení nedeformované, top/bottom shell, Rozsah zobrazeného napětí 0 – 180 MPa

5.7 SROVNÁNÍ NÁVRHŮ NOVÉ KONSTRUKCE

V této kapitole jsou srovnány jednotlivé návrhy, ze kterých byla vybrána finální verze nového rámu pro jeden blok. V tabulce 8 je uvedeno několik posuzovaných parametrů, které byly při výběru zohledněny. Tyto parametry jsou: hmotnost použitých profilů, cena za profily, nosnost rámu, cena profilů za nosnost 1 kg a hmotnost rámu na 1 kg zátěže. Pokud stanovená nosnost přesahuje 4 000 kg, byla pro porovnání na tuto hranici snížena, poněvadž těžší monolitický blok se nepoužívá. Z důvodu nesprávného ovlivnění hodnot, nebyly v posledním sloupci uvažovány hmotnosti prvků, které mají všechny rámy shodné (dosedací patky, závěsná oka a zadní stěna).

Tabulka 8: Srovnání návrhů nové konstrukce [11,12]

Návrh	Nosnost [kg]	Hmotnost profilů [kg]	Cena profilů [kč]	Cena za 1 kg nosnosti [kč]	Hmotnost rámu na 1 kg zátěže [kg]
Návrh 1	4 000	83,1	1 423	0,36	0,021
Návrh 2	4 000	49,1	1 281	0,32	0,012
Návrh 3	1 700	39,6	984	0,58	0,023
Původní rám	800	40,7	1 137	1,42	0,051

5.8 VOLBA NOVÉ KONSTRUKCE RÁMU PRO JEDEN BLOK

Jako nejvhodnější zvolen návrh rámu číslo 3. Tento rám zcela splňuje požadavek, aby byla nová konstrukce vyrobena ze snadno modifikovatelných součástí. Rozhodujícím faktorem pro tuto volbu byla jednak vyšší stabilita proti převrnutí během přepravy ale také více prostoru kolem zadních stojin pro umístění hydraulických prvků na blok. Dalším důvodem je maximální hmotnost jednoho řídicího bloku, která běžně nepřesahuje 1 500 kg, z čehož vyplývá, že další návrhy zatížené touto hmotností by byly zbytečně předimenzované. Výhodou tohoto návrhu je také nižší hmotnost profilů, ze kterých je rám svařen. V porovnání s původní konstrukcí byla dosažena nosnost rámu vyšší o 900 kg, i přes snížení hmotnosti konstrukce, a dokonce i nižší pořizovací ceny profilů. Pro tento rám byla vybrána okapová vana umístěná 20 cm nad podlahou a přivařená ke stojinám těsnícím svarem. Výkres sestavy vybraného rámu je v příloze diplomové práce.

ZÁVĚR

V úvodu této diplomové práce je popsáno několik způsobů upevnění hydraulických prvků do obvodu. Jednou z metod je montáž řídicích prvků do bloků, které se umísťují na ocelové rámy, jejichž pevnostní analýza je hlavním cílem této práce

V následující části je rešerše používaných konstrukcí nosných ráků ventilových stolů ve firmě Bosch Rexroth, s.r.o. Na začátku jsou uvedeny vlastnosti materiálu a nepoužívanějších profilů, ze kterých jsou ráky vyrobeny. U každého ráku byla popsána jeho konstrukce, použité profily a tvar okapové vany.

Ve třetí části jsou vytvořeny pevnostní analýzy tří vybraných ráků ventilových stolů. Nejprve jsou popsány dva zatěžovací stavy – pracovní režim a režim manipulace. Dále je zde uvedena metodika tvorby FEM modelu a několik informací doplňujících průběh výpočtu jako například použití náhrady závěsných ok nebo stanovení dovoleného napětí. Poté je provedena pevnostní analýza ráku pro více bloků. Celkem byly vytvořeny pevnostní analýzy pro oba zatěžovací stavy u 48 různých konstrukcí lišící se délkou konstrukce a použitým profilem pro stojiny a nosníky. Pro každý rám byla zjištěna jeho nosnost, což bylo cílem této analýzy. V případě zatížení ráku stanovenou nosností nebyla na celém ráku překročena hodnota dovoleného napětí. Jako návrh zlepšení tohoto ráku byla vytvořena a následně analyzována konstrukce doplněná o vyztužovací žebra. Jako další krok byla pevnostní analýza konstrukce pro jeden monolitický řídicí blok. Ukázalo se, že pro současný tvar konstrukce je velice nevýhodný způsob manipulace na lanech, neboť nosnost ráku během manipulace je pouhých 800 kg. Kritickým místem této konstrukce jsou příčníky z L profilu, které byly v závěrečné části diplomové práce nahrazeny a zkontrolovány pevnostní analýzou. Na konci této části byly vytvořeny analýzy pracovního režimu čtyř konzolových ráků, lišících se velikostí profilu použitého na stojině.

V následující kapitole jsou provedeny pevnostní analýzy pro několik výjimečných zatěžovacích stavů. Jedná se například o prudké brzdění nákladního automobilu, na kterém je ventilový stůl převážen. Tento stav se ukázal velice namáhavý pro konzolový rám, a musely být upraveny určené nosnosti této konstrukce. V této kapitole je dále provedena simulace ráku zavěšeného na třech lanech, nebo při průjezdu nákladního automobilu zatáčkou pro maximální dovolenou rychlost.

V poslední části práce jsou pevnostním výpočtem analyzovány tři návrhy nové konstrukce ráku pro jeden blok. Tato analýza byla provedena pro režim manipulace, který se v předchozích simulacích této konstrukce ukázal velice kritickým. Jednotlivé návrhy se liší hlavně v použitých profilech pro nosníky, na kterých je umístěn řídicí blok a nahrazují tak nevyhovující původní rovnoramenný L profil. Na závěr je u všech návrhů porovnání několika parametrů s původním rákem, jako například nosnost konstrukce, nebo cena profilů. Z těchto návrhů byl jako nejvhodnější vybrán 3. návrh konstrukce, který nejlépe odpovídal požadavkům.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] ŠKOPÁN, Miroslav. 2009 *Hydraulické pohony strojů*. Elektronické skriptum VUT FSI Brno, 166 s.
- [2] ARGO-HYTOS. [Http://www.argo-hytos.com](http://www.argo-hytos.com) [online]. [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: http://www.argo-hytos.com/fileadmin/user_upload/Katalog_SA4_hc7100_CZ.pdf
- [3] PAVLOK, Bohuslav. 2008. *Základní konstrukční celky*: učební opora předmětu "Hydraulická zařízení strojů" [online]. Ostrava [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: <http://www.338.vsb.cz/PDF/zakladni-konstrukcni-celky.pdf>
- [4] *Vestavné ventily do potrubí* [online]. [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: <http://www.seall.cz/cz/produkt/7-38-43/ventily-vestavne-a-ventily-do-potrubí/>
- [5] *Připojovací deska Bosch Rexroth* [online]. [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: <http://hyquip.co.uk/subplates/6607-bosch-rexroth-subplates-size-6.html>
- [6] *Řídící blok* [online]. [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: <http://www.sencerhidrolik.com/galeri.html>
- [7] *Upevňovací kostky* [online]. [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: http://www.walvoil.com/eng/products/distr_monoblocco.htm
- [8] *Sdružené prvky* [online]. [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: <http://www.argo-hytos.com/cz/novinky/archiv/archiv-novinky-pohled/rpek2-from-valve-to-modular-blocks.html>
- [9] *Monoblok* [online]. [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: http://www.walvoil.com/eng/products/distr_monoblocco.htm
- [10] Interní materiály firmy Bosch Rexroth, s.r.o.
- [11] *Sortiment Feron, a.s.* [online]. [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: <http://www.ferona.cz/cze/sortiment/sortiment.php>
- [12] *Ferona ceny* [online]. [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: <http://eshop.ferona.cz/>
- [13] *Vlastnosti oceli* [online]. [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: <http://www.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/tycove-oceli-uhlikove-konstrukcni-a-legovane/nelegovane-konstrukcni-oceli-podle-en-10025/prehled-vlastnosti-oceli-s235jrdrive-s235jrg2>
- [14] Česká technická norma – Eurokód 3: *Navrhování ocelových konstrukcí ČSN EN 1993-1-1*: Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. 2006. Praha: Český normalizační institut.
- [15] JANÍČEK, Přemysl a Zdeněk FLORIÁN. *Mechanika těles: Úlohy z pružnosti a pevnosti I*. vyd. Brno: VUT, 1990. ISBN 978-80-214-4122-4

- [16] HOLCNER, Petr. 2005. *Směrové řešení pozemních komunikací*: učební opora předmětu "Pozemní komunikace I." [online]. Brno [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: <http://www.fce.vutbr.cz/pko/holcner.p/bm01/opora/m02.pdf>
- [17] U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. *Experimental Measurement of The Stopping Performance of A Tractor-Semitrailer From Multiple Speeds* [online]. 2011 [cit. 2017-04-27]. Dostupné z: [https://one.nhtsa.gov/DOT/NHTSA/NVS/Vehicle%20Research%20&%20Test%20Center%20\(VRTC\)/ca/811488.pdf](https://one.nhtsa.gov/DOT/NHTSA/NVS/Vehicle%20Research%20&%20Test%20Center%20(VRTC)/ca/811488.pdf)

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

A, B	[MPa]	Parametry přímky
a_o	[m·s ⁻²]	Odstředivé zrychlení
a_s	[m·s ⁻²]	Setrvačné zrychlení
b_{HEB}	[mm]	Šířka přírub profilu HEB
BR	[-]	Bosch Rexroth, s.r.o.
b_{UPE}	[mm]	Šířka přírub profilu UPE
E	[MPa]	Modul pružnosti v tahu
FEM	[-]	Finite element method (metoda konečných prvků)
F_{kr}	[N]	Kritická síla
G	[MPa]	Modul pružnosti ve smyku
g	[m·s ⁻²]	Tíhové zrychlení
h_{HEB}	[mm]	Výška profilu HEB
h_{UPE}	[mm]	Výška profilu UPE
i	[mm]	Poloměr setrvačnosti stojiny
J	[mm ⁴]	Minimální kvadratický moment průřezu stojiny
k	[N·mm ⁻¹]	Tuhost pružiny
L	[mm]	Délka stojiny
MKP	[-]	Metoda konečných prvků
n	[-]	Konstanta určená způsobem namáhání prutu
R	[m]	Minimální poloměr zatačky
R_e	[MPa]	Minimální mez kluzu
R_m	[MPa]	Mez pevnosti
S	[mm ²]	Plocha průřezu stojiny
s_{HEB}	[mm]	Tloušťka stěny profilu HEB
s_{UPE}	[mm]	Tloušťka stěny profilu UPE
t_{HEB}	[mm]	Tloušťka přírub profilu HEB
t_{UPE}	[mm]	Tloušťka přírub profilu UPE
v	[m·s ⁻¹]	Maximální povolená rychlost
λ	[-]	Štíhlost stojiny
λ_m	[-]	Mezní štíhlost
ρ	[kg·m ⁻³]	Hustota
σ_d	[MPa]	Dovolené napětí

σ_{kr}	[MPa]	Kritické napětí
μ	[-]	Poissonovo číslo

SEZNAM PŘÍLOH

P1 Rozšířená tabulka srovnání navržených konstrukcí

Seznam výkresové dokumentace

V1 Výkres sestavy vybraného rámu pro jeden blok

V2 Výkres okapové vany

V3 Výkres zadní stěny

V4 Výkres závěsného oka

Tabulka 9: Rozšířené srovnání návrhů nové konstrukce [11, 12]

Návrhy konstrukce	Délka použitého profilu [m]					Počet žeber [ks]	Hmotnost rámu [kg]	Cena profilů [kč]	Nosnost rámu [kg]	Cena za 1 kg nosnosti [kč]	Hmotnost rámu na 1 kg nosnosti [kg]
	□ 50 x 50 [mm]	U 100 [mm]	HEB 100 [mm]	UPE 80 [mm]	L 50 x 50 [mm]						
Návrh 1	0	3,2	2	0	2,2	0	83,1	1 423	4 000	0,36	0,021
Návrh 2	5,2	0	0	2	0	0	49,1	1 281	4 000	0,32	0,012
Návrh 3	5,2	0	0	0,8	0	0	39,6	984	1 700	0,58	0,023
Původní rám	5,2	0	0	0	0,8	4	40,7	1 137	800	1,42	0,051
Hmotnost profilu [kg/m]	6,4	10,6	20,4	7,9	3,8	1,2					
Cena profilu [kč/m]	151	171	373	248	65	75					